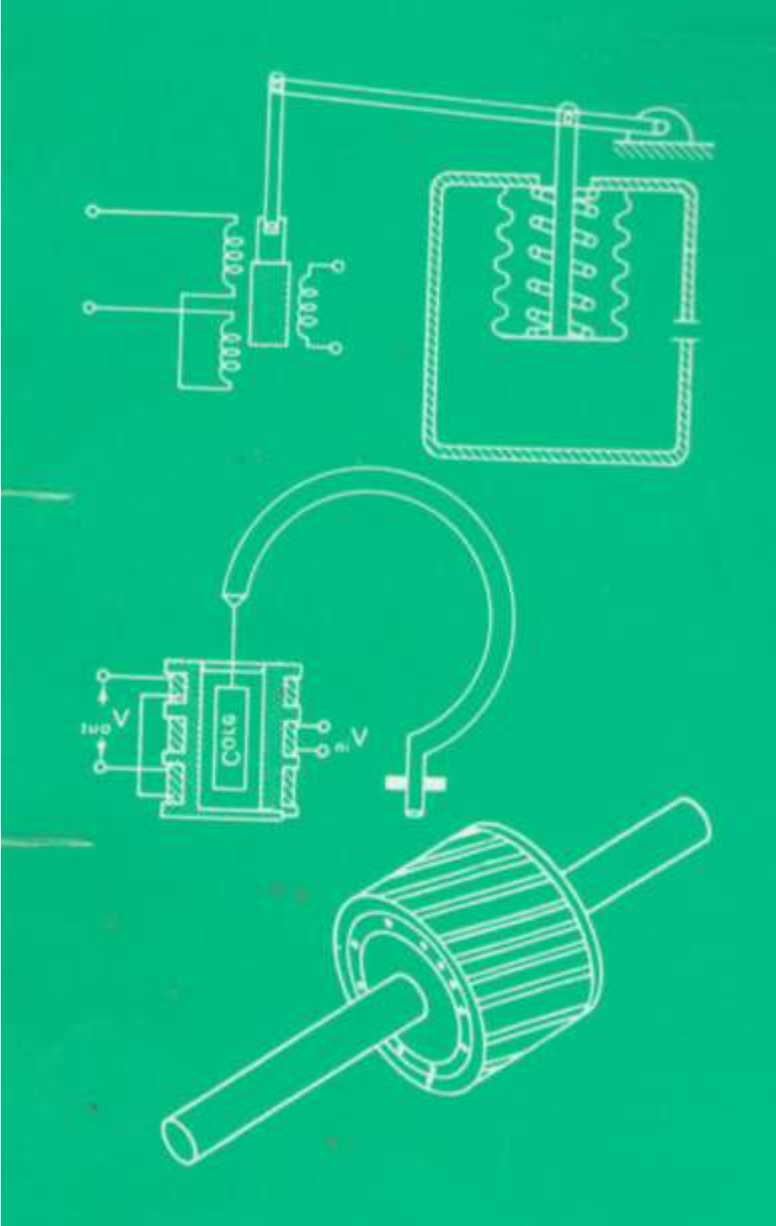
موسوعة الإلكترونيات الصناعية العملية (٤)



التحكم الإلكترونى في الآلات الكهربية والعمليات الصناعية

م. أحمد عبد المتعال

دار النشر للجامعات

التحكم الإلكترونى

فى

الآلات الكهربية والعمليات الصناعية

بسم الله الرحمن الرحيم

موسوعة الإلكترونيات الصناعية العملية (٤)

التحكم الإلكتروني

في

الآلات الكهربية والعمليات الصناعية

م. أحمد عبد المتعال

الكتـــــاب : التحكم الإلكتروني في الآلات الكهربية والعمليات الصناعية

المؤلــــــف : م. أحمد عبد المتعال

رقــم الطبعــة : الأولى (إعادة طباعة)

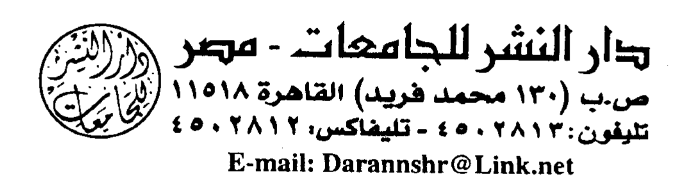
تاريخ الإصدار : ١٤٢٧هـ - ٢٠٠٦م

الناشـــــــر : دار النشر للجامعات

رقــم الإيــداع : ١٠٥٧٠/ ٩٧

الترقيم الدولي : ISBN: 977-5526-62-0

الكـــــــود : ٣٤/ ٢


دار النشر للجامعات - مصر
ص.ب (١٣٠ محمد فريد) القاهرة ١١٥١٨
تليفون: ٤٥٠٢٨١٣ - تليفاكس: ٤٥٠٢٨١٢
E-mail: Darannshr@Link.net

بسم الله الرحمن الرحيم

﴿ قَالَ رَبِّ أَوْزِعْنِي أَنْ أَشْكُرَ نِعْمَتَكَ الَّتِي أَنْعَمْتَ عَلَيَّ وَعَلَىٰ وَالِدَيَّ وَأَنْ أَعْمَلَ صَالِحًا تَرْضَاهُ وَأَصْلِحْ لِي فِي ذُرِّيَّتِي إِنِّي تُبْتُ إِلَيْكَ وَإِنِّي مِنَ الْمُسْلِمِينَ ﴾

صدق الله العظيم

شكر وتقدير

أتقدم بخالص الشكر **للدكتور خالد السيد صالح** – الأستاذ المساعد بقسم القوى والآلات الكهربية بكلية الهندسة جامعة عين شمس – لتقديم يد المعاونة لنا فى إعداد هذا الكتاب .

كما أتقدم بخالص الشكر **للدكتور محمد نجم** – الأستاذ المساعد بقسم القوى والآلات الكهربية بكلية الهندسة جامعة عين شمس . .

وكذلك **المهندس محمود جمال أحمد عبد الستار** – المهندس بمركز تنمية التصميمات الصناعية بالقاهرة . .

على تعاونهما الصادق معنا فى إعداد هذا الكتاب .

ولا يفوتنى أيضاً أن أتقدم بالشكر الجزيل لكل من ساهم معنا فى إعداد هذا الكتاب . . وجزاهم الله خير الجزاء . . .

المؤلف

الباب الأول

التحكم الالكترونى فى محركات التيار المستمر



التحكم الالكترونى فى محركات التيار المستمر

١ / ١ - أشباه الموصلات :

لقد اتجهت الشركات المصنعة على استخدام أشباه الموصلات بدلاً من الريليهات الكهرومغناطيسية EMR'S فى التحكم فى الآلات الكهربية بصفة عامة، حيث الأداء الأفضل، والسعر المنخفض، وإمكانية التحكم فى سرعة المحركات وبدئها فى آن واحد.

وسوف نتناول فى هذه الفقرة بإيجاز أهم أشباه الموصلات المستخدمة فى التحكم فى الآلات الكهربية.

١ / ١ / ١ - الثنائيات (الموحدات) (Rectifiers) Diodes :

يتكون الثنائى من وصلة ثنائية P - N مصنوعة من أشباه الموصلات مثل السليكون Si أو الجرمانيوم Ge ويتواجد الثنائى عادة فى الأسواق على شكل اسطوانة مرسوم عليها شريط ملون على أحد جانبيها للدلالة على مكان المادة N (السالبة) والتى تمثل المهبط Cathode، أما الجانب الآخر فيمثل المادة P (الموجبة) والتى تمثل المصعد Anode.

وفيما يلى رمز الثنائى :

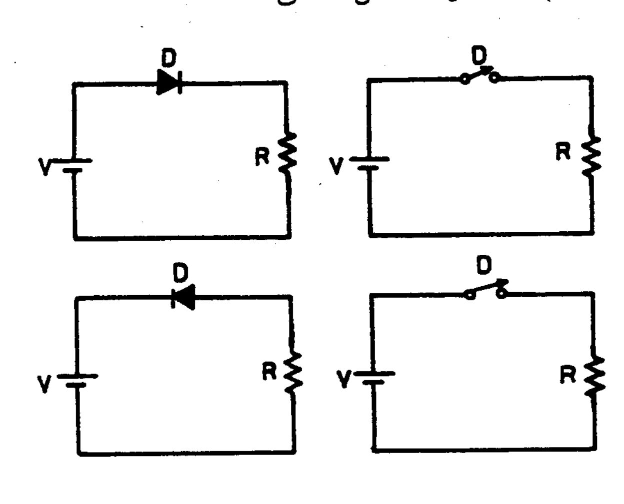
A ▶| K

ويعتبر الثنائى فى الوضع الطبيعى كمفتاح مفتوح، وحتى يعمل الثنائى كمفتاح مغلق يجب تعريضه لانحياز أمامى Forward bias، أى تعريض مصعده لجهد موجب، وتعريض مهبطه لجهد سالب، ويكون اتجاه مرور التيار من المصعد إلى المهبط ويقال : إن الثنائى فى حالة وصل (ON).

أما إذا تعرض الثنائى لانحياز عكسى Reverse bias، أى تعرض مهبطه لجهد موجب بالنسبة لجهد المصعد يمر تيار تسرب صغير جداً Leakage current، ويعمل

الثنائى فى هذه الحالة كمفتاح مفتوح، ويقال : إن الثنائى فى حالة قطع off .

والشكل (١ - ١) يبين طريقة عمل الثنائى .



الشكل (١ - ١)

والجدير بالذكر أن ثنائى الجرمانيوم يتحول لحالة الوصل عندما يكون فرق الجهد بين مصعده ومهبطه أكبر من 0.3V، ويكون فقد الجهد فيه 0.3V تقريباً، أما ثنائي السليكون فيتحول لحالة الوصل عندما يكون فرق الجهد بين مصعده ومهبطه أكبر من 0.6V، ويكون فقد الجهد فيه 0.6V تقريباً. علماً بأن الثنائى السليكونى هو السائد تقريباً فى الأسواق لأنه الأكثر استقراراً فى درجات الحرارة العالية، وتستخدم الثنائيات على نطاق واسع فى دوائر التوحيد Rectification circiuts .

ويندرج تحت عائلة الثنائيات ثنائيات خاصة تعرف بثنائيات الزينر، وهى ثنائيات سليكونية، لها خواص تسمح بإمرار جهد مستمر ثابت فى الانحياز العكسى، وهى تشبه الثنائيات العادية فى الشكل.

فعندما يتعرض ثنائى الزينر لانحياز أمامى يعمل كثنائى عادى، ويتحول لحالة الوصل، ويمر التيار الكهربى، ويكون فرق الجهد بين مصعده (A) ومهبطه (K) مساوياً 0.7 V : 0.6 تقريباً. وعند تعريض ثنائى الزينر لانحياز عكسى فإن ثنائى الزينر يكون فى حالة قطع فى البداية، وبمجرد زيادة فرق الجهد بين مهبطه ومصعده عن جهد انهياره يتحول الثنائى لحالة الوصل، وبالتالى يعمل ثنائى الزينر فى هذه

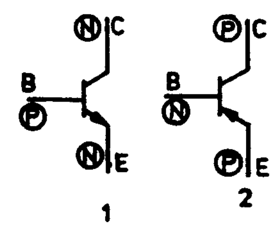
الحالة كمنظم للجهد للمحافظة على الجهد بين مهبطه ومصعده لا يتجاوز جهد الزينر للثنائى.

وفيما يلى رمز ثنائى الزينر:

١ / ١ / ٢ - الترانزستور Transistor :

للترانزستور ثلاثة أرجل وهى: القاعدة (B) Base، والباعث (E) Emitter، والمجمع (C) Collector، ويصنع الترانزستور من ثلاث طبقات من أشباه الموصلات، وهذه الطبقات بعضها سالب N، وبعضها موجب P. وتقسم الترانزستورات حسب قطبية هذه الطبقات إلى ترانزستورات PNP، وتتألف من طبقتين سالبتين N وطبقة موجبة P، وترانزستورات PNP، وتتألف من طبقتين موجبتين P وطبقة سالبة N.

وفيما يلى رموز هذه الترانزستورات:



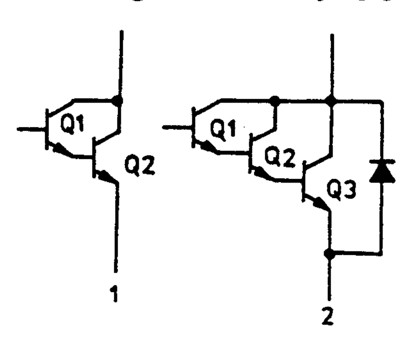
ويعتبر الترانزستور فى حالة قطع طبيعى، أى أن تيار مجمعه يساوى صفراً. وعند تعريض القاعدة والباعث لانحياز أمامى وتعريض المجمع والقاعدة لانحياز عكسى يتحول الترانزستور لحالة الوصل، فمثلا: بالنسبة للترانزستورNPN عندما يكون جهد القاعدة أكبر من جهد الباعث، وعندما يكون جهد المجمع أعلى من جهد القاعدة، يتحول الترانزستور لحالة الوصل. والعكس بالعكس بالنسبة لترانزستور PNP.

وعادة يستخدم الترانزستور كمفتاح فى دوائر التحكم فى المحركات، فعندما يكون تيار القاعدة صفراً فإن الترانزستور يكون فى حالة قطع Cut off، وعند مرور تيار قاعدة كاف يتحول الترانزستور لحالة الوصل الكامل Fully on ويمر تيار كبير فى

المجمع، وعادة فإن فرق الجهد الفعلى بين مجمع وباعث الترانزستور يساوى (0.2:0.4 V) عند حالة الوصل الكامل، وعادة تعرف النسبة بين تيار المجمع وتيار القاعدة للترانزستور بمعامل الكسب للترانزستور ويرمز له β، حيث إن:

$$\beta = \frac{I_C}{I_B} \quad \rightarrow 1.1$$

والجدير بالذكر أن قيمة معامل الكسب β تتفاوت من ترانزستور لآخر حسب تصميمه، وهى تساوى فى المتوسط 100، ويمكن زيادة معامل كسب β للترانزستورات بتوصيل الترانزستورات معاً كما يلى:



ويكون الكسب الكلى فى هذه الحالة مساوياً حاصل ضرب كسب الترانزستورات المنفردة، وتسمى هذه التوصيلة دارلنجتون، وتوجد ترانزستورات تحتوى على هذه التوصيلة داخل قالب واحد، ولها ثلاثة أرجل فقط وتسمى ترانزستورات دارلنجتون، ويصل تيار مجمعها 300A، وتتحمل فرق جهد على أطرافها (المجمع – الباعث) عندما تكون فى حالة قطع يصل إلى 1000V.

١ / ١ / ٣ - ترانزستور تأثير المجال معدن أكسيد شبه الموصل Mosfet:

يوجد نوعان من ترانزستورات Mosfet، وهما:

١ – نوع النضوب Depletion type.

٢ – نوع التعزيز Enhancement type.

ولكليهما ثلاثة أرجل، وهى المصرف (D) Drain، والمصدر أو المنبع Source (S)، والبوابة (G) Gate. وتصنع هذه الترانزستورات من قناة موجبة P أو قناة سالبة N.

وفيما يلى رموز ترانزستورات Mosfet : فالرمز 1 لترانزستور نوع النضوب بقناة N. والرمز 2 لترانزستور نوع النضوب بقناة P. والرمز 3 لترانزستور نوع التعزيز بقناة N. والرمز 4 لتزانزستور نوع التعزيز بقناة P.

والفرق بين ترانزستور Mosfet نوع النضوب ونوع التعزيز فى قِطبيه فرق الجهد بين البواية والمصدر V_{GS} والذى يعمل عنده كلاهما، فيعمل ترانزستور النضوب بقناة N عندما يكون فرق الجهد V_{GS} بالموجب أو السالب، ويزداد تيار المصرف I_D بزيادة فرق الجهد عند القطبية الموجبة، ويقل بزيادة الجهد عند القطبية السالبة؛ لذلك يمكن اعتباره ترانزستور فى حالة توصيل طبيعى. ويعمل ترانزستور التعزيز بقناة N عندما تكون قطبية فرق الجهد V_{GS} بالموجب فقط، ويزداد تيار المصرف I_D بزيادة فرق الجهد V_{GS} ويقل بنقصانه، ويكون الترانزستور فى حالة قطع عندما يكون V_{GS} مساوياً الصفر.

والجدير بالذكر أن ترانزستور Mosfet نوع التعزيز هو أغلب أنواع ترانزستورات Mosfet انتشاراً.

ولقد استطاعت ترانزستورات Mosfet التغلب على مشكلة كبيرة موجودة فى الترانزستورات العادية، وهى كبر تيار تشغيلها، فمثلا: يبلغ تيار التشغيل (تيار القاعدة) I_B لترانزستور دارلنجتون معامل كسبه 100 وتيار مجمعه حوالى 3A، فى حين أن تيار بوابة ترانزستورات Mosfet عادة تكون بالميكرو أمبير.

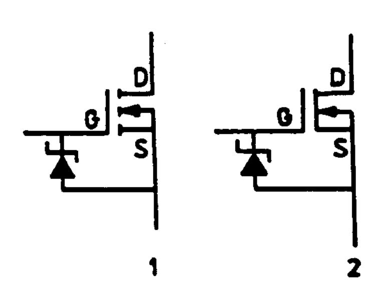
والجدير بالذكر أن ترانزستورات Mosfet يتم التحكم فيها بالتحكم فى فرق الجهد بين البوابة والمصدر V_{GS}، وليس بالتحكم فى شدة تيار البوابة I_G. وتتميز ترانزستورات Mosfet عن الترانزستورات العادية بالسرعة العالية، وإمكانية توصيل

أكثر من ترانزستور Mosfet بالتوازى معاً لزيادة سعة التيار، وهذ بالطبع لا يمكن تحقيقه مع الترانزستورات العادية، الأمر الذى دفع المصممين للاتجاه لترانزستورات Mosfet نوع التعزيز فى التحكم فى القدرة.

وتوجد أنواع من ترانزستورات Mosfet تعمل عند جهود تصل إلى 650V وتيارات تصل إلى 100A. ويعاب على ترانزستورات Mosfet حساسيتها العالية التى قد تؤدى لتلفها قبل استخدامها إذا لم تستخدم بحذر، حيث تنهار عند انتقال الشحنات الكهرو إستاتيكية إلى أرجلها من الأجسام الخارجية بفعل الاحتكاك.

والجدير بالذكر أن معظم الأنواع الجديدة من ترانزستورات Mosfet الموجودة بالأسواق تحتوى على ثنائى زينر بين البوابة والمصدر لمنع ارتفاع V_{GS} لقيم غير آمنة، وبالتالى تحمى الترانزستور من الجهود العابرة بالدائرة وكذلك عند النقل والتداول.

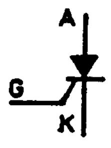
وفيما يلى رموز ترانزستورات Mosfet التى تحتوى على ثنائى زينر: فالرمز 1 لترانزستور Mosfet نوع التعزيز. والرمز 2 لترانزستور Mosfet نوع النضوب وكلاهما بقناة N.



١ / ١ / ٤ - الموحد السليكونى المحكوم (الثايرستور) SCR:

للثايرستور ثلاثة أرجل، وهى: المصعد Anode (A)، والمهبط Cathode (K)، والبوابة Gate (G).

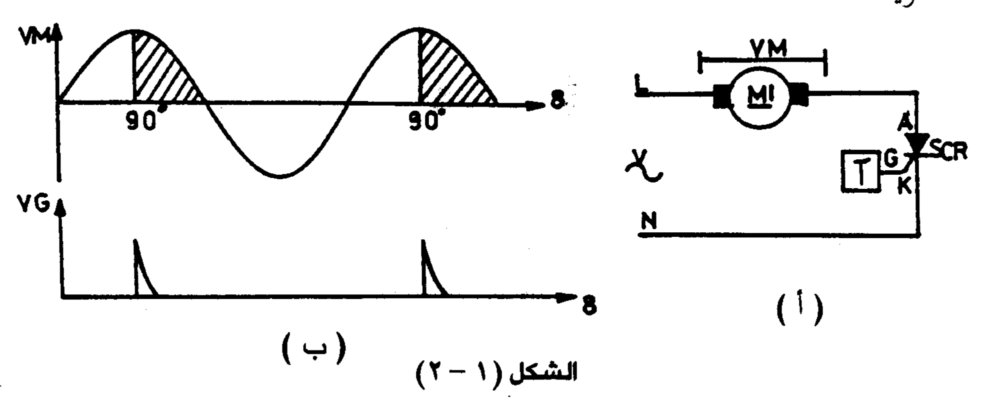
وفيما يلى رمز الثايرستور:



ويعمل الثايرستور كثنائي إذا كان منحازاً أمامياً ووصلت إشارة جهد موجبة بين البوابة والمهبط؛ لذلك سمى بموحد السليكون المحكوم SCR. ويشترط فى إشارة الجهد اللازمة لإشعال الثايرستور (تحول الثايرستور لحالة الوصل) أن يكون زمنها كاف للإشعال، ويجب ألا يقل عن 10µS، وان يكون تيار البوابة I_G الناتج من تسليط إشارة الجهد V_{GK} كاف لإحداث إشعال عند قيمة فرق الجهد بين المصعد والمهبط V_{AK}، ويرمز جهد البوابة الأدنى اللازم لإشعال الثايرستور V_{GT} وتيار البوابة الأدنى اللازم لإشعال الثايرستور I_{GT}.

والشكل (١ – ٢) يبين دائرة تحكم فى سرعة محرك تيار مستمر بمغناطيس دائم (الشكل أ)، وكذلك موجة الجهد على أطراف المحرك ونبضات إشعال الثايرستور (الشكل ب)، ويلاحظ أن نبضات الإشعال تصل لبوابة الثايرستور عندما تكون زاوية الإشعال مساوية $\alpha = 90^0$، ويكون الجهد على أطراف المحرك هو الجزء المهشر فقط، أما باقى الموجة الموحدة فتكون على أطراف الثايرستور.

ويعمل الثايرستور تماماً كموحد، حيث يمنع وصول نصف الموجة السالب للمحرك، ويلاحظ أنه كلما زادت زاوية الإشعال قل فرق الجهد على أطراف المحرك، ويصبح فرق الجهد على أطراف المحرك مساوياً الصفر عندما تكون زاوية الإشعال مساوية $\alpha = 180^0$.



الشكل (١ – ٢)

والجدير بالذكر أن إطفاء الثايرستور (تحوله لحالة القطع Cut off) تعتبر من المشاكل الرئيسية التى نتعرض لها فى دوائر الثايرستور، حيث يبقى الثايرستور فى حالة وصل ON، طالما أن تيار المصعد I_A أكبر من قيمة معينة تسمى بتيار الإمساك.

وهناك عدة طرق لإطفاء الثايرستور نذكر منها:

١ - استخدام الثايرستور فى دوائر التيار المتردد، حيث يحدث للثايرستور إطفاء ذاتى عند مرور نصف الموجة الموجبة بالصفر.

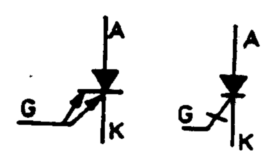
٢ - استخدام مفتاح يدوى أو الكترونى بالتوازى مع الثايرستور، فبمجرد غلق المفتاح يتحول الثايرستور لحالة القطع.

٣ - توصيل مكثف مشحون بالتوازى مع الثايرستور بطريقة تجعل الثايرستور يتعرض لجهد معاكس بين المصعد والمهبط فيقل تيار المصعد عن تيار الإمساك فيتحول لحالة القطع.

١ / ١ / ٥ - الثايرستور ذو بوابة الإطفاء GTO :

تعد صفة الإمساك للثايرستور SCR من أهم المشاكل التى نتعرض لها فى دوائر الثايرستورات، حيث يظل الثايرستور فى حالة وصل إلى أن ينخفض تيار المصعد I_A عن تيار الإمساك، أما GTO فيمكن إشعاله وإطفاؤه فى أى لحظة، فعند وصول نبضة جهد موجبة للبوابة يشتعل GTO، وعند وصول نبضة جهد سالبة للبوابة ينطفئ GTO:

وفيما يلى رمز GTO:



ويلاحظ أن GTO له ثلاثة أرجل تماماً مثل الثايرستور المعتاد.

وفيما يلى مميزات GTO:

١ - له سرعة وصل وفصل كبيرة جداً مقارنة بالثايرستور المعتاد، خصوصاً عند الترددات التى تصل إلى 10KHZ.

٢ - يمكن إشعاله بتيار بوابة حوالى عدة عشرات من الملى أمبيرات، ويمكن

إطفاؤه بتيار حوالى عدة مئات من المللى أمبيرات.

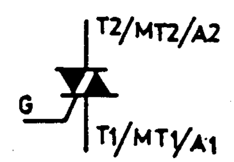
ويعاب على GTO ارتفاع فقد الجهد بين مصعده ومهبطه عند تحوله لحالة الوصل، فيصل فقد الجهد بين المصعد والمهبط إلى 3:4V، فى حين يتراوح فقد الجهد بين مصعد ومهبط الثايرستور المعتاد ما بين 1:2V.

ويطلق أحياناً على GTO مفتاح بوابة التحكم، ويرمز له بالرمز (GCS).

١ / ١ / ٦ - الترياك Triac :

ينتمى الترياك لعائلة الثايرستور، عدا أنه يتميز عن الثايرستور بأنه يسمح بمرور التيار فى الاتجاهين. وللترياك ثلاثة أطراف وهى: المصعد الأول ويرمز له A_1 أو T_1 أو MT_1 ، والمصعد الثانى ويرمز له A_2 أو T_2 أو MT_2، والبوابة ويرمز لها G.

وفيما يلى رمز الترياك:



ويتحول الترياك لحالة الوصل ON عند وصول فرق الجهد بين المصعدين A_2 وA_1 لجهد الانهيار الفوقى أو عند وصول نبضة جهد للبوابة، وذلك عند تحقق أحد الحالات التالية:

١ - عندما تكون قطبية كل من G وT_2 موجبة، فتصل نبضة جهد موجبة للبوابة، ويرمز لهذه الحالة I+.

٢ - عندما تكون قطبية T_2 موجبة وقطبية G سالبة، فتصل نبضة جهد سالبة للبوابة، ويرمز لهذه الحالة I-.

٣ - عندما تكون قطبية T_2 سالبة وقطبية G موجبة، فتصل نبضة جهد سالبة للبوابة، ويرمز لهذه الحالة III+.

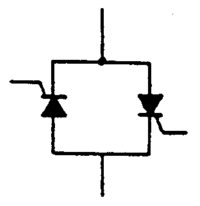
٤ - عندما تكون قطبية T_2 سالبة وقطبية G سالبة أيضاً، فتصل نبضة جهد سالبة

للبوابة، ويرمز لهذه الحالة ‎-III‎.

والجدير بالذكر أن حساسية الترياك تكون أكبر ما يمكن عند الحالة ‎-III‎ و ‎+I‎، وتقل الحساسية نوعاً ما فى الحالة ‎-I‎، وتكون حساسية الترياك أقل ما يمكن فى الحالة ‎+III‎.

وهناك حدود لاستخدام الترياك فى التحكم فى الآلات الكهربية، وذلك لأن الحد الأقصى للجهد العكسى للترياكات يساوى 1000V وتيارها الأقصى 200A، كما أن تركيب الترياك الداخلى يجعله مناسباً عند الترددات 50:60HZ. فى حين أن الثايرستور SCR يستخدم عند ترددات تصل إلى 600HZ وكذلك عند الجهود والترددات الفائقة؛ لذلك يمكن استخدام عدد 2 ثايرستور موصلين خلفاً لخلف، بحيث يكافئان ترياك واحد عند عدم توفر ترياك يتحمل الجهود والتيارات المطلوبة.

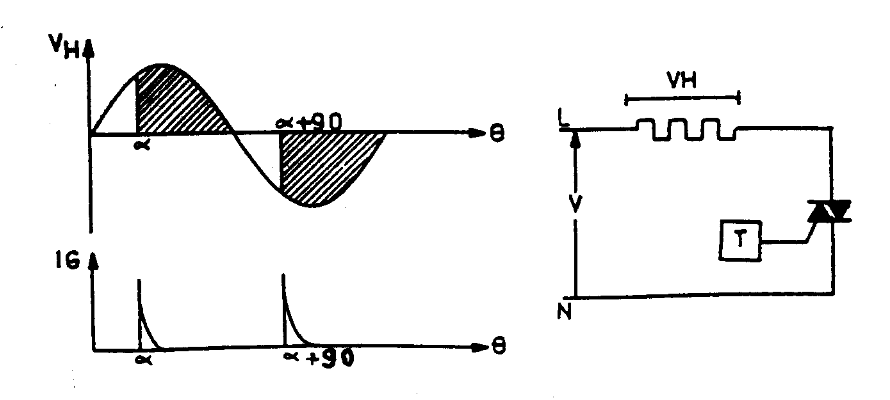
والشكل (١ – ٣) يبين طريقة توصيل ثايرستورين معاً للحصول على مكافئ لترياك.



الشكل (١ – ٣)

ولا تختلف زاوية إشعال الترياك α عن زاوية إشعال الثايرستور. والشكل (١ – ٤) يبين دائرة ترياك تتحكم فى سخان كهربى وشكل موجه الجهد على أطراف السخان V_H وكذلك نبضات إشعال الترياك، حيث إن T تعنى دائرة إشعال الترياك، ويلاحظ أن نبضات الإشعال تصل لبوابة الترياك فى نصف الموجة الموجب، وكذلك النصف السالب، كما أن الترياك يمرر تيار فى الاتجاهين.

والجدير بالذكر أنه كلما ازدادت زاوية الإشعال قل الجهد المسلط على الحمل V_H (الجزء المهشر)، وعندما تكون زاوية الإشعال α تساوى 180^0 فإن الجهد المسلط على الحمل V_H سيساوى صفراً، وعندما تكون α مساوية 0^0 فإن V_H سيكون أكبر ما يمكن.



الشكل (١ - ٤)

١ / ١ / ٧ - الالكترونيات الضوئية :

إن جميع أشباه الموصلات تتفاعل مع الضوء لحد ما، مما دفع المصممين لتصميم بعض العناصر الالكترونية الضوئية، تعمل كحساسات للضوء أو باعثات للضوء، وسوف نتناول بعضها بشكل موجز فى هذه الفقرة.

١ - الثنائى الباعث للضوء LED :

وهو يشبه لحد كبير لمبة صغيرة بألوان مختلفة، وهو يستخدم للإشارة، وعادة لا ينبعث الضوء من الثنائى الباعث للضوء حتى يصبح جهد الانحياز الأمامى أكبر من 2V ، أما عند الانحياز العكسى فإن ثنائى LED لا يضئ. وتوجد عدة أنواع من الثنائيات الباعثة للضوء حسب تيارها، فالأولى تسمى منخفضة القدرة وتيارها (5mA)، والثانية قياسية وتيارها (10mA)، والثالثة عالية القدرة وتيارها (20mA).

٢ - الترانزستور الضوئى Photo transistor :

وهو يشبه الترانزستور العادى، عدا أن له سطحاً زجاجياً يسمح بسقوط الشعاع الضوئى على وصلة الترانزستور، فإذا عرض الترانزستور الضوئى للضوء فإن تيار المجمع سوف يزداد بزيادة شدة الشعاع الضوئى الساقط.

٣ - الثايرستور الضوئى (LASCR) :

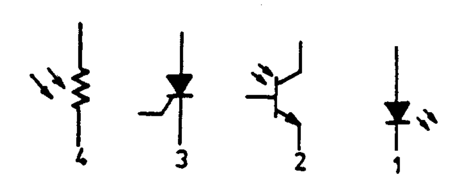
وهو يشبه الثايرستور العادى فى عمله، عدا أنه يحتوى على سطح زجاجى يسمح بسقوط الشعاع الضوئى على وصلته، ويعمل (LASCR) كعنصر إمساك،

فبمجرد سقوط شعاع ضوئى عليه يحدث إشعال له، ولا يمكن إطفاؤه إلا بتقليل تيار المصعد عن تيار الإمساك له.

٤ - المقاومة الضوئية LDR :

وهى تصنع من مواد شبه موصلة مثل سيلنيد الكادميوم، وتغطى بالسيراميك، وتوضع داخل غلاف زجاجى وتتغير مقاومة LDR عند تعرضها لشعاع ضوئى، فتقل المقاومة من عدة ميجا أوم إلى عدة كيلو أوم.

وفيما يلى رموز كل من الثنائى المشع للضوء LED (الرمز 1)، والترانزستور الضوئى (الرمز 2)، والثايرستور الضوئى (الرمز 3)، والمقاومة الضوئية (الرمز 4).

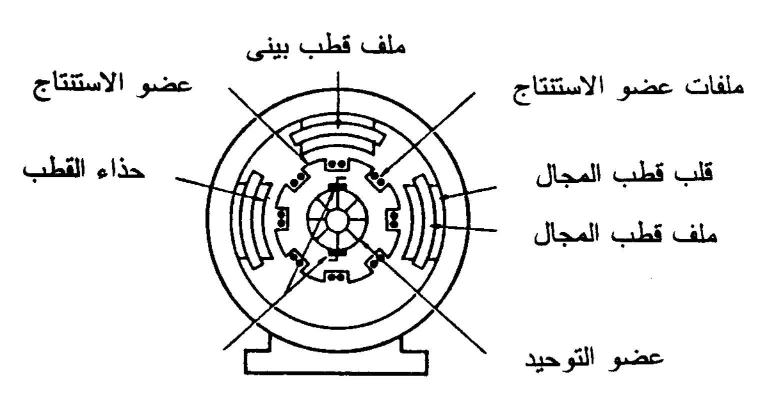


١ / ٢ - محركات التيار المستمر ذات المجال الملفوف :

لوقت قريب كان محرك التيار المستمر هو الحصان الأسود فى الصناعة، ويرجع هذا لسهولة التحكم فى سرعته وخواصه الممتازة وإمكانية الحصول على مدى واسع من السرعات.

ويعاب على محركات التيار المستمر ارتفاع سعرها وكبر حجمها وحاجتها المستمرة للصيانة، مقارنة بالمحركات الاستنتاجية ذات القفص السنجابى. كما أنها تحتاج لمصدر تيار مستمر، الأمر الذى يستدعى وجود دوائر توحيد لتحويل التيار المتردد لتيار مستمر.

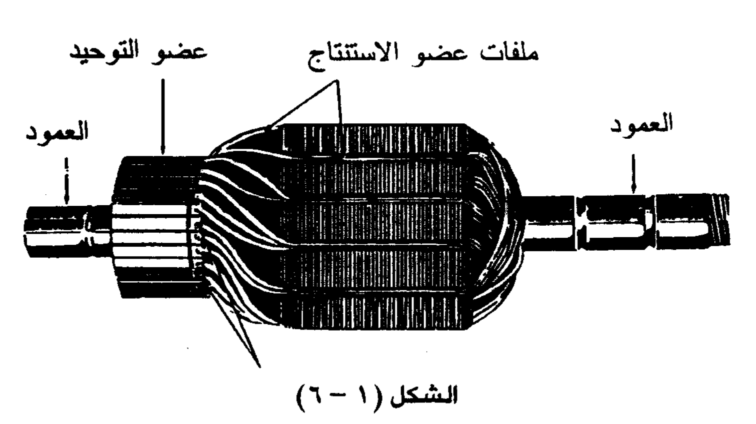
والشكل (١ - ٥) يعرض قطاعاً أمامياً لمحرك تيار مستمر بقطبين Two Poles.



الشكل (١ - ٥)

ويتركب المحرك من عضو ثابت Stator يحمل الأقطاب المغناطيسية الرئيسية Main Poles، والتى تنتج المجال المغناطيسى المطلوب، والأقطاب البينية Inter Poles، والتى تعمل على تقليل الشرر الذى يحدث عند الفرش الكربونية أثناء دوران المحرك، وعضو دوار يحمل الملفات الكهربية للمحرك، ويسمى بعضو الاستنتاج Armature.

والشكل (١ - ٦) يعرض المسقط الأفقى لعضو الاستنتاج.



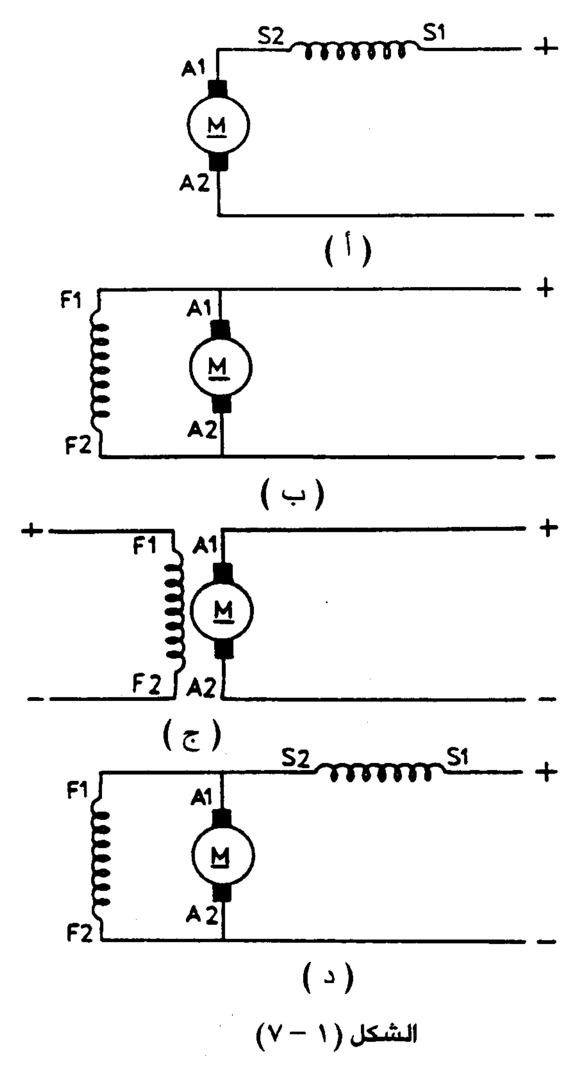
الشكل (١ - ٦)

ويلاحظ أن عضو الاستنتاج يتكون من قلب مغناطيسى اسطوانى مصنوع من رقائق من الصلب السليكونى المعزولة عن بعضها، ويحتوى على مجارى طولية تحتوى على الملفات الكهربية، ويثبت فى القلب المغناطيسى عضو توحيد Commutator مقسم إلى لامات طولية، وتوصل أطراف الملفات مع هذه اللامات بطريقة معينة أثناء التصنيع.

والجدير بالذكر أنه عند تجميع محرك التيار المستمر يثبت على عضو التوحيد فرش كربونية تنزلق على عضو التوحيد، ويتم تغذية المحرك من خلالها بالتيار الكهربى، وتوضع كل فرشة داخل حامل فرش مثبت على العضو الثابت، ويتم دفع الفرشة تجاه عضو التوحيد بواسطة يايات موضوعة داخل حامل الفرش.

ويمكن تقسيم محركات التيار المستمر ذات المجال الملفوف تبعاً لطريقة توصيل ملفات المجال Field كما بالشكل (١ - ٧) إلى :

١ - محرك توالى Series Motor (الشكل أ).



الشكل (١ - ٧)

٢ – محرك توازى Shunt Motor (الشكل ب) .

٣ – محرك تغذية منفصلة Separately Excited Motor (الشكل جـ) .

٤ – محرك مركب Compound Motor (الشكل د) .

والجدير بالذكر أن A_2 وA_1 هى أطراف عضو الاستنتاج، أما S_2 وS_1 فهى أطراف ملف التوالى المثبت على الأقطاب الرئيسية، أما F_2 وF_1 فهى أطراف ملف التوازى والمثبت أيضاً على الأقطاب الرئيسية .

١ / ٣ - نظرية عمل محركات التيار المستمر :

يدور محرك التيار المستمر نتيجة للتفاعل بين المجال المغناطيسى الناتج عن مرور التيار الكهربى فى عضو الاستنتاج والمجال المغناطيسى الرئيسى للمحرك، سواء كان مجال توالٍ أو توازٍ . . . إلخ . فعند دوران عضو الاستنتاج تنزلق الفرش على عضو التوحيد، وبالتالى يصل التيار الكهربى لملفات عضو الاستنتاج الواحد تلو الآخر . وحتى نستوعب نظرية عمل محركات التيار المستمر ينبغى علينا أن نفهم مبدأ القوة الدافعة الكهربية العكسية E المتولدة عند دوران المحرك، فعند وصول التيار الكهربى للمحرك، وعندما يكون المحرك فى حالة الثبات، يمر تيار كهربى فى ملفات عضو الاستنتاج يساوى .

$$I_s = \frac{E_o}{R_a} \rightarrow 1.2$$

حيث إن

I_S تيار البدء .

E_O جهد المصدر المستمر .

R_a مقاومة عضو الاستنتاج .

وبمجرد دوران المحرك، ونتيجة لتفاعل المجالات المغناطيسية داخل المحرك، تتولد قوة دافعة كهربية عكسية على أطراف ملفات عضو الاستنتاج E، وبالتالى يصبح التيار المار فى المحرك فى هذه الحالة يساوى .

$$I_o = \frac{E_o - E}{R_a} \rightarrow 1.3$$

والجدير بالذكر أن تيار البدء I_s قد يساوى ست مرات من تيار المحرك عند الحمل الكامل I_o.

والمعادلة 1.4 تبين العلاقة بين القوة الدافعة الكهربية العكسية E وسرعة المحرك N وتيار المجال:

$$E = K_e I_f N \rightarrow 1.4$$

حيث إن: Ke ثابت القوة الدافعة الكهربية الحثية العكسية

أما عزم محرك التيار المستمر فنحصل عليه من المعادلة 1.5:

$$T = K_e I_f I_o \rightarrow 1.5$$

حيث إن:

K_t ثابت العزم.

I_f تيار المجال.

I_o هو تيار عضو الاستنتاج.

والجدير بالذكر أنه يمكن عكس حركة محركات التيار المستمر بعكس أطراف المجال الرئيسى، مع تثبيت أطراف عضو الاستنتاج أو العكس.

١ / ٤ - التحكم الالكترونى فى محركات التيار المستمر:

يمكن التحكم فى سرعة محركات التيار المستمر باستخدام:

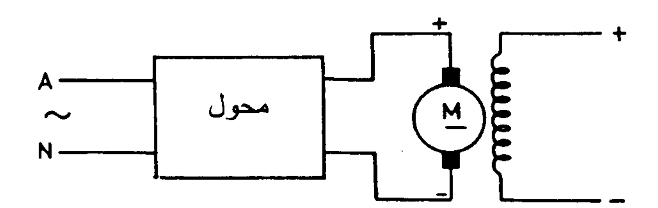
١ - محولات تيار مستمر محكومة Converters: تقوم بتحويل التيار المتردد لتيار مستمر مع إمكانية التحكم فى جهد التيار المستمر، وهى تنقسم لنوعين: محولات أحادية الوجه، ومحولات ثلاثية الوجه.

٢ - مقطعات تيار مستمر DC choppers: وتقوم بتقطيع التيار المستمر الداخل

عليها بطرق مختلفة لتغيير القيمة المتوسطة للجهد المستمر الخارج منها .

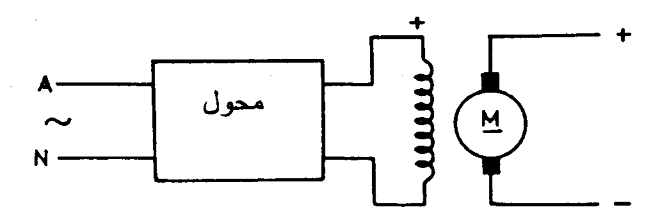
وهناك طريقتان متبعتان للتحكم فى سرعة محركات التيار المستمر :

الأولى : بالتحكم فى جهد عضو الاستنتاج، فى حين أن جهد المجال يظل ثابتاً كما هو واضح بالشكل (١ – ٨) . وفى هذه الحالة نحصل على عزم ثابت مع تغير السرعة .



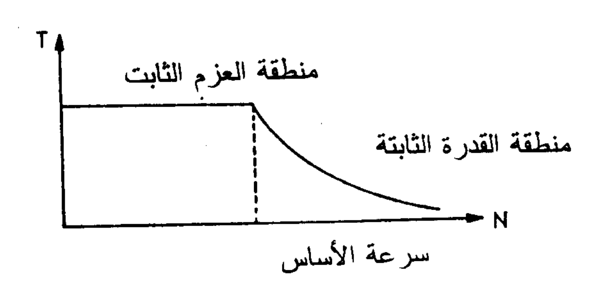
الشكل (١ – ٨)

والثانية : بالتحكم فى جهد ملف المجال مع تثبيت جهد عضو الاستنتاج كما بالشكل (١ – ٩) . وفى هذه الحالة نحصل على قدرة ثابتة مع انخفاض العزم عند زيادة السرعة .



الشكل (١ – ٩)

والشكل (١ – ١٠) يبين العلاقة بين السرعة والعزم لأجهزة التحكم الالكترونية فى سرعة محركات التيار المستمر DC Drives. ويلاحظ أنها تحتوى على منطقتين مختلفتين، المنطقة الأولى تسمى منطقة ثبات العزم مع تغير السرعة، ونحصل عليها بتغيير جهد عضو الاستنتاج مع ثبات جهد المجال. والثانية تسمى منطقة ثبات القدرة، ويكون العزم فيها متغيرا بتغير السرعة، ونحصل عليها بتثبيت جهد عضو الاستنتاج، وتغيير جهد المجال، ومنطقة التقاء المنطقتين تعطى سرعة الأساس Base Speed، ونحصل عليها عند تعريض المجال وعضو الاستنتاج للجهود المقننة.



الشكل (١ – ١٠)

١ / ٥ محولات التيار المستمر DC Converters

تستخدم محولات التيار المستمر المحكومة بكثرة فى التحكم فى سرعة محركات التيار المستمر من مصدر تيار متردد أحادى الوجه أو ثلاثى الوجه، أما خرج هذه المحولات فيكون جهدا مستمرا، ويمكن تغيير القيمة المتوسطة لهذا الجهد بالتحكم فى زاوية إشعال الثايرستورات المستخدمة فى بناء هذه المحولات، وتستخدم هذه المحولات فى أنظمة تحكم ذات حلقة مفتوحة ، وأنظمة ذات حلقة مغلقة، فى التحكم فى سرعة محركات التيار المستمر.

ويمكن تقسيم هذه المحولات من حيث نوع دخلها إلى:

١ – محولات قنطرة بوجه واحد Single Phase bridge Converters.

٢ – محولات قنطرة ثلاثية الأوجه 3phase bridge converters.

ويمكن تقسيم محولات التيار المستمر حسب عدد الثايرستورات المستخدمة فى بنائها إلى:

١ – محولات بثايرستور واحد.

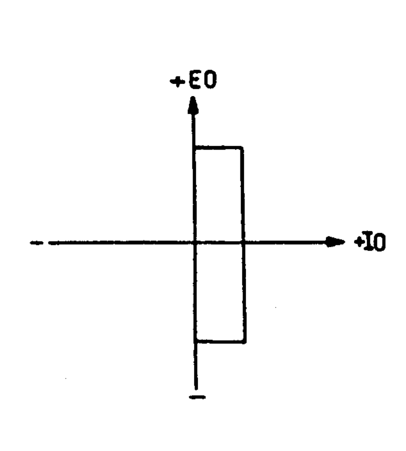
٢ – محولات بعدة ثايرستورات، والتى يمكن تقسيمها حسب نظرية عملها إلى:

+E0

+I0

الشكل (١ – ١١)

أ – محولات نصف محكومة - Semi Converters، ويكون خرج هذه المحولات جهدا مستمرا له قطبية موجبة E_O وتيار موجب I_O، كما بالشكل (١ – ١١) لذلك فإن هذه المحولات تعمل فى الربع الأول، حيث تنتقل القدرة الكهربية من المصدر إلى المحرك، وتتراوح قدرة المحركات التى يتم التحكم فيها بمحولات نصف محكومة ما بين 15: 150 HP.

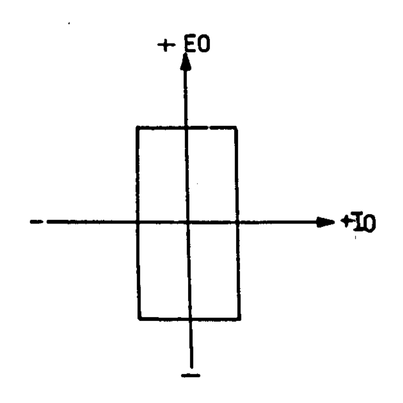


الشكل (١ – ١٢)

ب – محولات بتحكم كامل -Full Converters، ويكون خرج هذه المحولات جهدا مستمرا له قطبية موجبة أو سالبة، وتيار له قطبية موجبة فقط، لذلك فإن هذه المحولات تعمل فى الربع الأول أو الرابع. ففى الربع الأول تنتقل القدرة الكهربية من المصدر الكهربى إلى المحرك فيدور المحرك، وفى الربع الرابع تنتقل القدرة الكهربية من المحرك إلى المصدر، ويتصرف المحرك كمولد فتحدث له فرملة وتتراوح قدرة المحركات التى يتم التحكم فيها بمحولات بتحكم كامل ما بين 100: 150 HP.

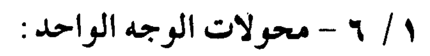
جـ – محولات مزدوجة Dual Converters: وخرج هذه المحولات جهد مستمر، له قطبية موجبة أو سالبة وتيار له قطبية موجبة أو سالبة؛ لذلك فإن هذا المحول يعمل فى أحد الأرباع الأربعة، كما هو مبين بالشكل

(١-١٣) . فـفـى الربع الأول والثـالـث تنتـقـل القـدرة الكهـربيـة من المصـدر للمحرك ويدور المحرك فى اتجاه أو عكس اتجاه عقارب الساعة .



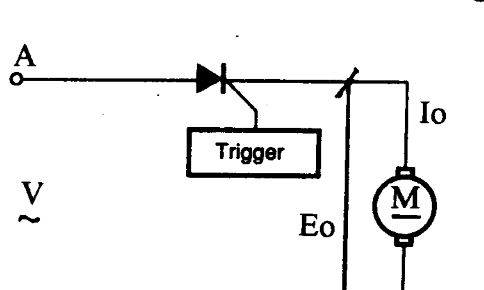
الشكل (١ - ١٣)

وفى الربع الثـانى أو الربع الرابع تنتـقـل القـدرة الكهـربيـة من المحرك للـمصـدر الكهـربى، ويعـمـل المحـرك كـمـولـد، وتحـدث فـرملة للمـحـرك، سـواء كـان يدور فى اتجاه عـقـارب السـاعـة أو يدور فى عكس اتجاه عـقـارب السـاعـة . وتتراوح قدرة المحركات التى تعـمل بهـذه المحولات (200: 2000 HP) .



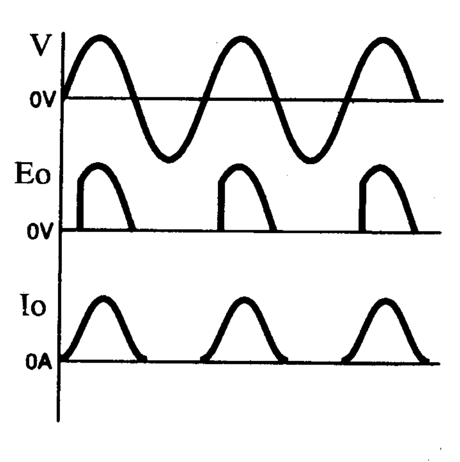
١ / ٦ - محولات الوجه الواحد :

١ / ٦ / ١ - محولات التيار المستمر ذات الثايرستور الواحد :



إن أبسـط طرق التـحكم فى سـرعـة محـركـات التـيـار المسـتـمـر اسـتـخـدام ثايرستور واحد .

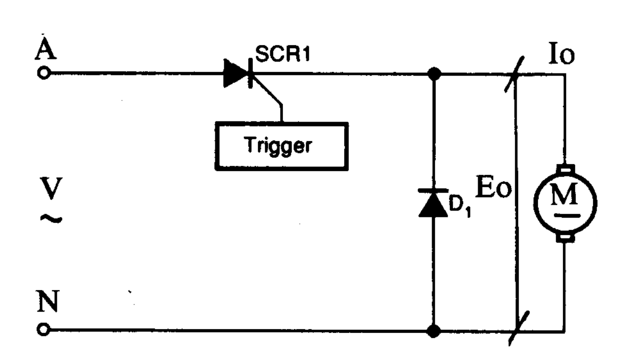
ففى الشكل (١ - ١٤) دائرة لمنظم سرعة محرك تيار مستمر نصف موجة، ويلاحظ من منحنى مـوجـة الجـهـد والتيـار أنه عندما يتحول الثـايرسـتـور لحـالـة القطع لا يمر تيـار فى الدائرة، ويؤدى تقطع مرور التيار فى الدائرة إلى تغير شديد فى السرعة والعزم .

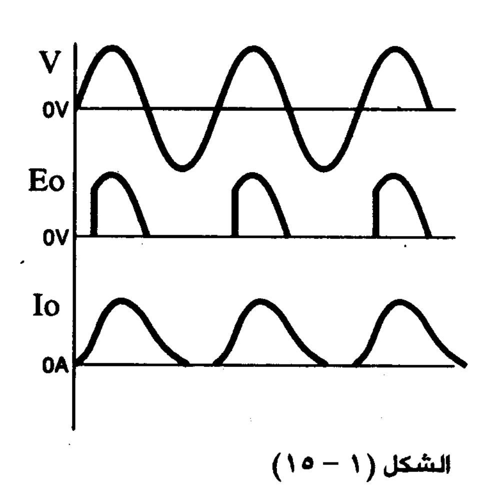


الشكل (١ - ١٤)

ويمكن تقليل تقطع مرور التيـار فى الدائرة، بإضـافـة ثنائى حـدافـة Free Whelling Diode، كـمـا هو مـوضـح

بالشكل (١ – ١٥)، حيث يتحول ثنائى الحدافة D_1 للتوصيل عندما يكون لثايرستور SCR_1 فى حالة قطع وأيضاً يقوم ثنائى الحدافه D_1 بحماية الثايرستور SCR_1 من الانهيار نتيجة للقفزات السريعة التى تحدث عند تحول الثايرستور لحالة القطع، ويمكن معرفة الفرق بعد إضافة ثنائى الحدافة D_1 عن ذى قبل بمقارنة الشكل (١ – ١٥) مع الشكل (١ – ١٤).



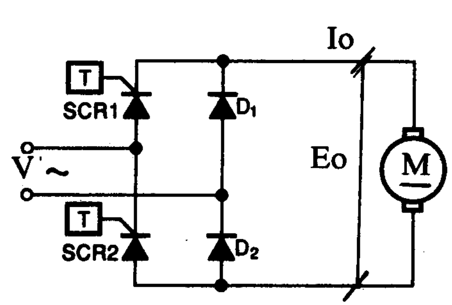


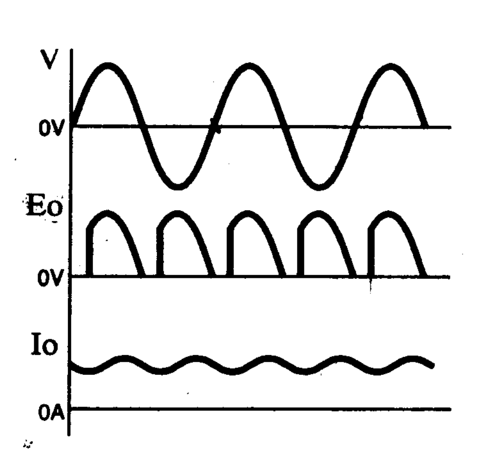
الشكل (١ – ١٥)

والجدير بالذكر أنه كلما صغرت زاوية إشعال الثايرستور ازداد الجهد المتوسط على أطراف المحرك E_O، وبالتالى زادت سرعة المحرك، والعكس بالعكس.

١ / ٦ / ٢ - محولات القنطرة الأحادية الوجه:

أولا: محولات القنطرة النصف محكومة:





الشكل (١ - ١٦)

الشكل (١ - ١٦) يعرض أحد المحولات النصف محكومة الأحادية الوجه، وهى تحتوى على قنطرة توحيد تتكون من عدد 2 ثايرستور وعدد 2 ثنائى، وهذه الدائرة تعطى تحكما أفضل من المحولات ذات الثايرستور الواحد، حيث يمكن التحكم فى نصفى الموجه السالب والموجب بواسطة الثايرستورات. فعندما يصبح جهد المصدر موجبا فإن SCR_1 يصبح منحازا أماميًا، وعند وصول نبضة إشعال من دائرة الإشعال T الخاصة به يشتعل الثايرستور SCR_1، ويمر التيار من طرف الجهد الموجب للمصدر خلال SCR_1، وصولاً للمحرك، ويعود لطرف الجهد السالب للمصدر من خلال الثنائى D_2. وفى نصف الموجة السالب يكون SCR_2 منحازا أماميًا، وعند وصول نبضة إشعال من دائرة الإشعالُ T الخاصة به يشتعل الثايرستور SCR_2، فيمر التيار الكهربى من طرف الجهد الموجب للمصدر خلال SCR_2، وصولاً للمحرك، ويعود لطرف الجهد السالب للمصدر من خلال الثنائى D_1.

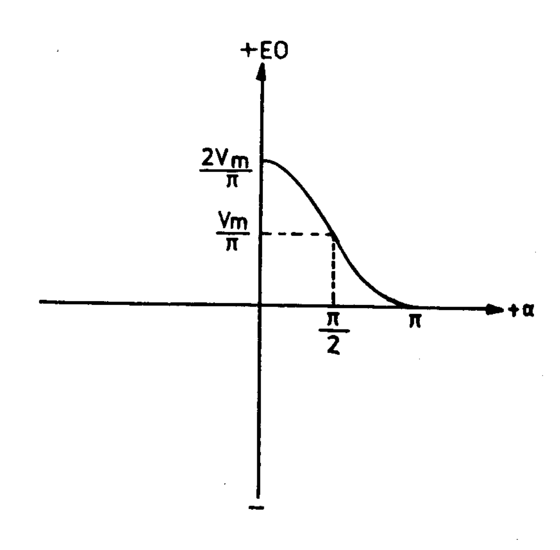
والجدير بالذكر أن الثنائيات D_1, D_2 تعمل كثنائيات حدافة توصل أثناء قطع الثايرستورات SCR_1, SCR_2.

وبالحساب وجد أن العلاقة بين الجهد المتوسط على أطراف المحرك E_O وزاوية إشعال الثايرستورات α كما يلى .

$$E_O = \frac{V_m}{\pi} (1 + \cos \alpha)$$

$\rightarrow$ 1. 5

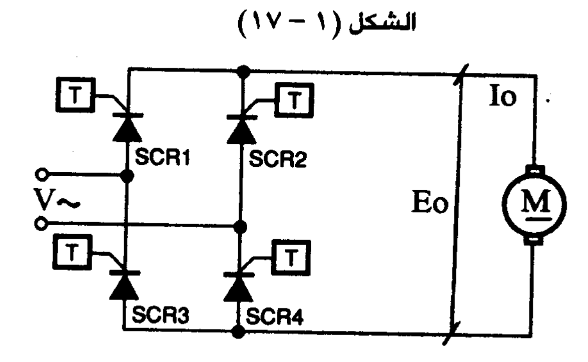
حيث إن V_m أقصى قيمة لجهد المصدر المتردد . والشكل (١ - ١٧) يبين العلاقة بين E_O والزاوية α . وتستخدم هذه المحولات مع المحركات التى تصل قدرتها إلى 25 HP .

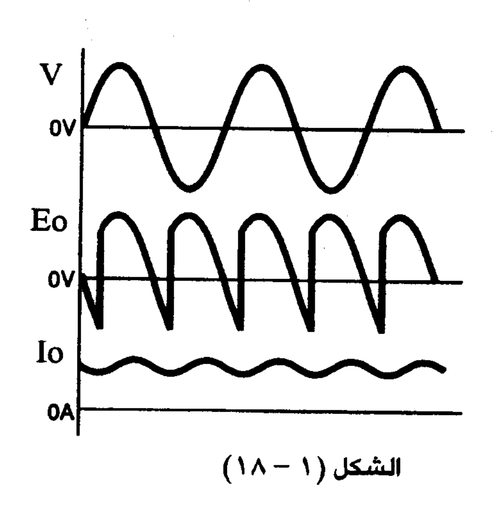


الشكل (١ - ١٧)

ثانيا : محولات القنطرة ذات التحكم الكامل :

الشكل (١ - ١٨) يعرض أحد محولات القنطرة ذات التحكم الكامل الأحادية الوجه، وهى تحتوى على أربع ثايرستورات موضوعة داخل قنطرة وجه واحد، ولهذه الدائرة خاصية غير موجودة فى الدوائر السابقة، وهى خاصية إعادة القدرة من المحرك للمصدر مرة أخرى لعمل فرملة للمحرك،





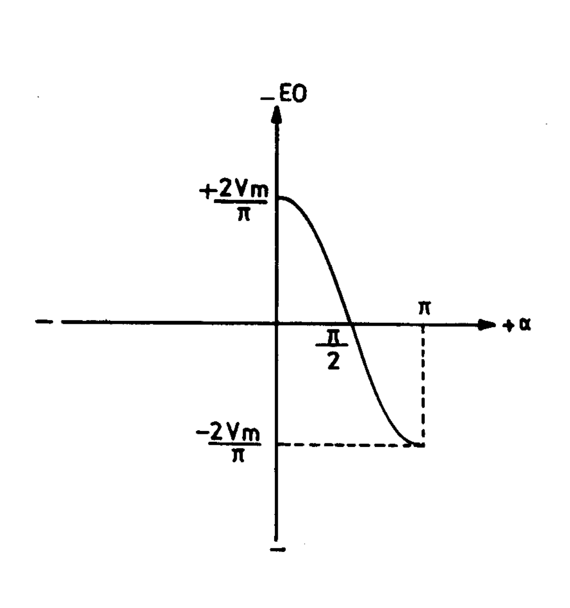
الشكل (١ - ١٨)

وتسمى هذه الطريقة فرملة إعادة التوليد Regenerative braking، حيث يتم إشعال كل اثنين من الثايرستورات معًا، فيتم إشعال SCR_1, SCR_3 فى نصف الموجه الموجب، وإشعال SCR_2, SCR_4، فى نصف الموجة السالب.

وبالحسابات وجد أن العلاقة بين الجهد المتوسط على أطراف المحرك E_O وزاوية الاشعال α للمحول الكامل كما يلى:

$$E_O = \frac{2V_m}{\pi} (\text{Cos } \alpha) \rightarrow 1.6$$

حيث إن V_m أقصى قيمة لجهد المصدر المتردد. والشكل (١ - ١٩) يبين العلاقة بين E_O والزاوية α.



الشكل (١ - ١٩)

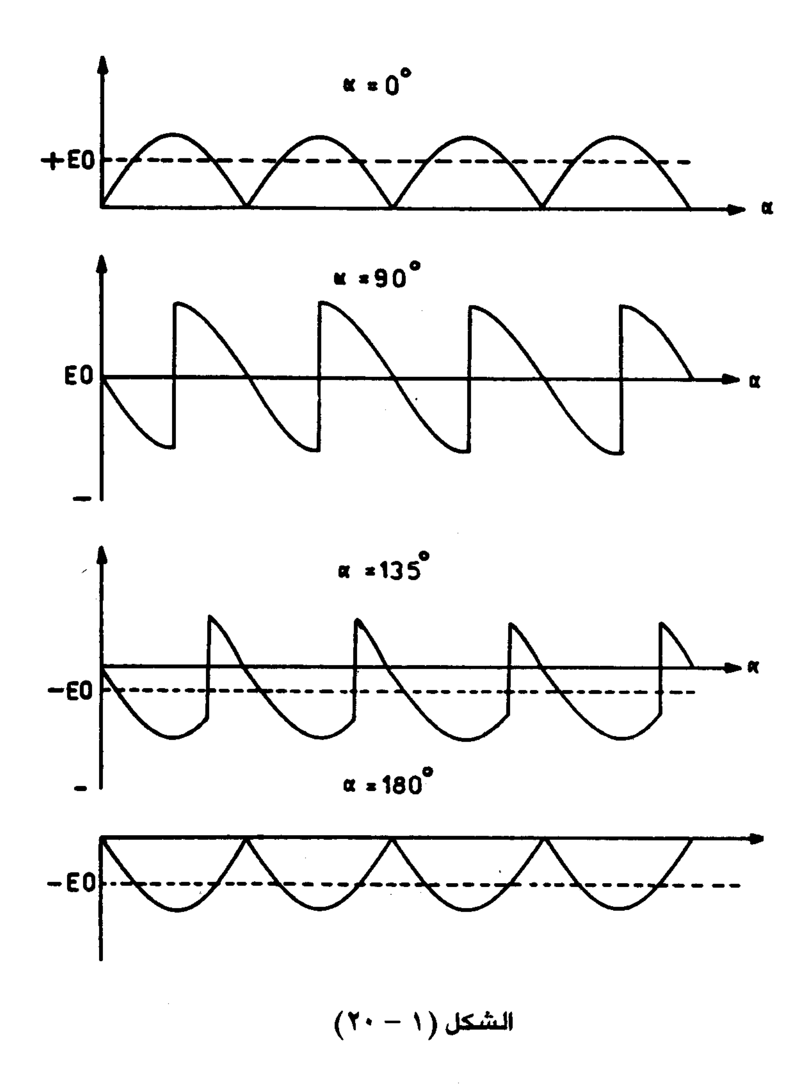
وفيما يلى شرح للعلاقة بين E_O والزاوية α:

١ - عندما تكون زاوية الإشعال α أقل من $90°$ يكون كل من الجهد المتوسط E_O والتيار المتوسط I_O موجبان، فيعمل المحرك فى الربع الأول ويدور فى اتجاه عقارب الساعة.

٢ - عندما تكون زاوية الإشعال α مساوية $90°$ فإن الجهد المتوسط E_O يساوى صفراً، ويتوقف المحرك.

٣ - عندما تكون زاوية الإشعال أكبر من $90°$ يكون الجهد المتوسط E_O بالسالب، وبالتالى يتصرف المحرك كما لو كان مولداً، وتنتقل القدرة الكهربية من المحرك للمصدر المتردد، ويعمل المحرك فى الربع الرابع، ويحدث فرملة للمحرك.

والشكل (١ - ٢٠) يبين شكل موجة الجهد V على أطراف المحرك عند قيم مختلفة لزوايا الإشعال.

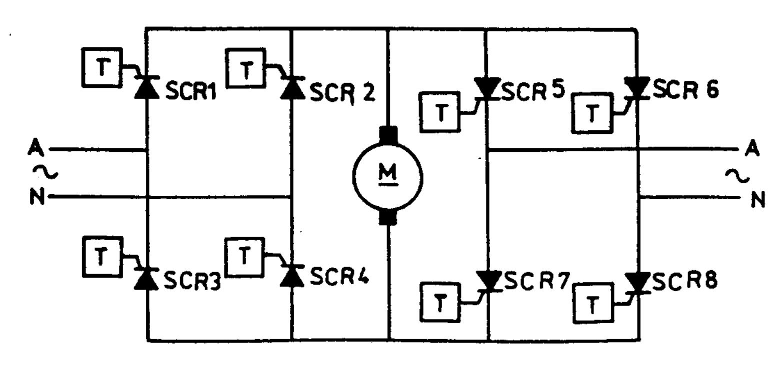


الشكل (١ – ٢٠)

ثالثًا : محولات القنطرة المزدوجة : –

تستخدم محولات القنطرة الأحادية الوجه المزدوجة فى التحكم فى سرعة المحركات المستمرة فى كلا الاتجاهين، وكذلك فرملتها فى كلا الاتجاهين، وهى تتكون من محولين كاملين متصلين خلفًا لخلف، كما هو مبين بالشكل (١ – ٢١) .

وبهذه الطريقة يمكن للمحرك العمل فى الأرباع الأربعة .



الشكل (١ - ٢١)

شرح طريقة عمل المحول المزدوج :

١ - أثناء توقف المحرك يجب أن يكون خرج المحولين الكاملين متساويا ومتعاكسا، وبالتالى يكون محصلتهما صفراً. وهذا يتحقق بجعل مجموع زوايا إشعالهما يساوى 180°، فإذا كانت زاوية إشعال المحول الكامل الخاص بالدوران جهة اليمين 70° مثلاً، فيجب أن تكون زاوية إشعال المحول الخاص بالدوران جهة اليسار 110°.

٢ - يجب منع وصول نبضات الإشعال للمحول الخاص بالدوران جهة اليسار عند دوران المحرك جهة اليمين، والعكس بالعكس.

٣ - لعكس اتجاه المحرك من اتجاه اليمين مثلا إلي اتجاه اليسار نتبع الآتى :

أ - يفرمل المحرك، وذلك بجعل زاوية إشعال محول اليمين أكبر من 90°.

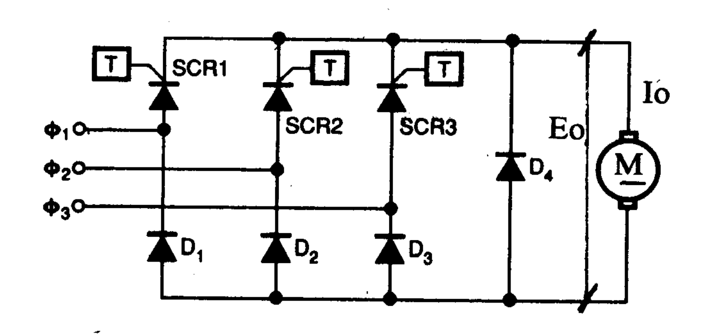
ب - بمجرد توقف المحرك تمنع نبضات إشعال محول اليمين من الوصول.

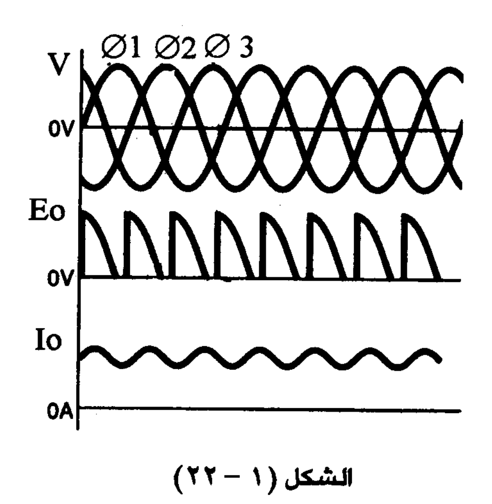
حـ - يسمح لنبضات إشعال محول اليسار من الوصول، مع التحكم في زاوية الإشعال تبعا للسرعة المطلوبة.

١ / ٧ - محولات التيار المستمر ثلاثية الأوجه :

١ / ٧ / ١ - محولات القنطرة الثلاثية الأوجه النصف محكومة :

الشكل (١-٢٢) يعرض محولا ثلاثي الأوجه نصف محكوم، وهو يحتوي على قنطرة توحيد ثلاثية الأوجه تتألف من ثلاثة ثنائية D_1 , D_2 , D_3 وثلاثة ثايرستورات SCR_1, SCR_2, SCR_3





الشكل (١ - ٢٢)

والجدول (١ - ١) يبين الثنائيات والثايرستورات المنحازة أماميًا في الفترات المختلفة خلال دورة كاملة.

الجدول (١-١)

0: 60°	60: 120	120: 180	180: 240	240: 300	300: 360
SCR_1	SCR_1	SCR_2	SCR_2	SCR_3	SCR_3
D_2	D_3	D_3	D_1	D_1	D_2

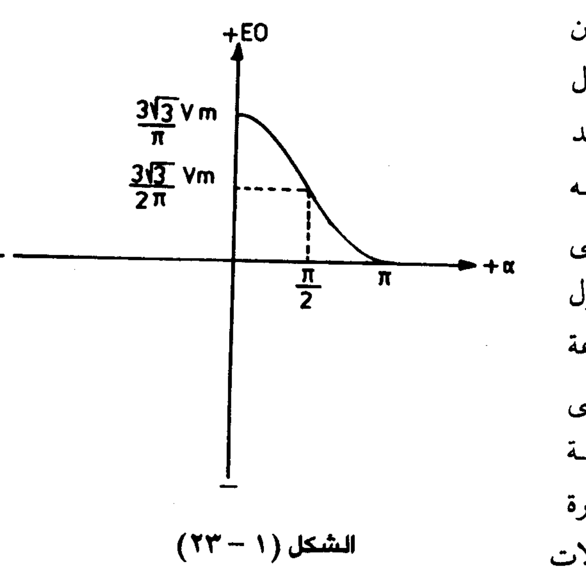
والجدير بالذكر أن العلاقة بين الجهد المتوسط علي أطراف المحرك E_O وزاوية الإشعال α كما يلي:

$$E_O = \frac{3\sqrt{3}\ Vm}{2\pi}(1 + \cos\alpha) \rightarrow 1.7$$

حيث إن :

Vm هي اقصي قيمة لجهد الوجه للمصدر الثلاثى الأوجه.

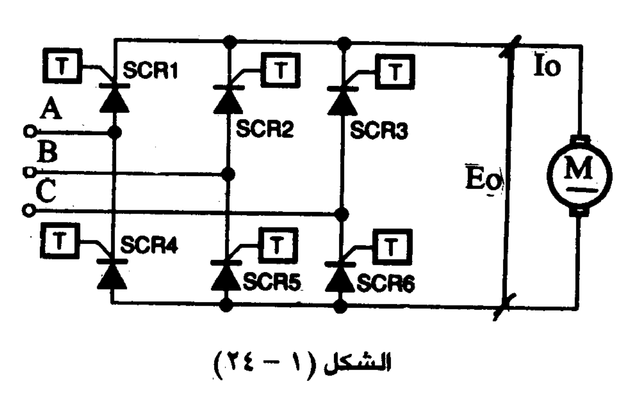
والشكل (١-٢٣) يبين العلاقة بين E_O وزاوية الإشعال α، ويلاحظ أن المحرك له جهد متوسط موجب على أطرافه مهما كانت قيمة α، وبالتالى يعمل المحرك فى الربع الأول ويدور فى اتجاه عقارب الساعة تماماً، كما هو الحال فى المحولات النصف محكومة الأحادية الوجه. وتتراوح قدرة المحركات العاملة بمحولات القنطرة الثلاثية الأوجه النصف محكومة (10: 150 HP).



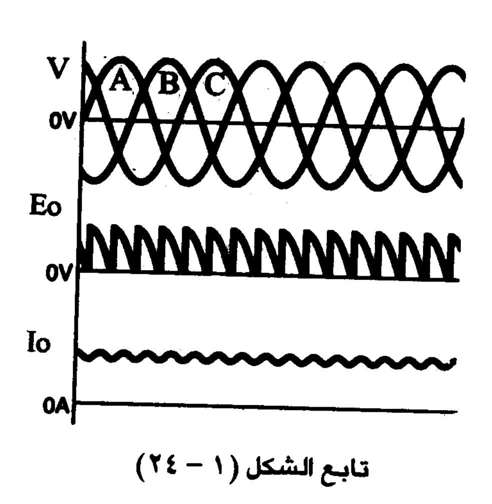
الشكل (١ - ٢٣)

١ / ٧ / ٢ - محولات القنطرة الثلاثية الأوجه ذات التحكم الكامل :

الشكل (١ - ٢٤) يعرض دائرة محول ذات تحكم كامل ثلاثى الأوجه، وهو يحتوى على قنطرة ثلاثية الأوجه مؤلفة من ست ثايرستورات.



الشكل (١ - ٢٤)



تابع الشكل (١ - ٢٤)

والجدول (١ - ٢) يبين الثايروستورات المنحازة أماميًا فى الفترات المختلفة خلال دورة كاملة.

الجدول (١ - ٢)

300 : 360	240 : 300	180 : 240	120 : 180	60 : 120	0 : 60
SCR_3	SCR_3	SCR_2	SCR_2	SCR_1	SCR_1
SCR_5	SCR_4	SCR_4	SCR_6	SCR_6	SCR_5

والجدير بالذكر أن العلاقة بين الجهد المتوسط على أطراف المحرك E_O وزاوية الإشعال α كما يلى:

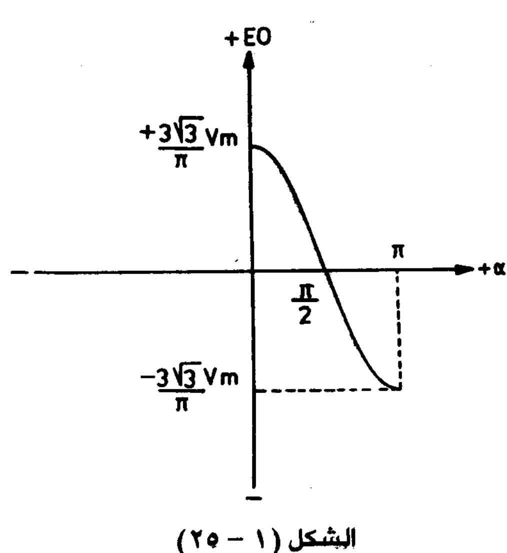
$$E_O = \frac{3\sqrt{3}}{\pi} V_m \cos\alpha \rightarrow 1,8$$

والشكل (١ - ٢٥) يبين العلاقة بين E_O وزاوية الإشعال α.

ولا يختلف أداء المحرك فى حالة المحول الثلاثى الأوجه ذات التحكم الكامل عن أداء المحرك فى حالة المحول الأحادى الوجه ذى المحول الكامل.

ولمزيد من التفاصيل ارجع للفقرة (١ / ٦ / ٢) القنطرة الثلاثية الأوجه ذات

التحكم الكامل $100: 2500\ H_p$.



الشكل (١ - ٢٥)

١ / ٧ / ٣ - محولات القنطرة الثلاثية الأوجه المزدوجة:

الشكل (١ - ٢٦) يعرض دائرة محول قنطرة ثلاثى الوجه مزدوج، حيث يستخدم للتحكم فى سرعة محركات التيار المستمر التى تصل قدرتها إلى ميجاوات فى اتجاهين، وكذلك فرملتها فى الاتجاهين. ويلاحظ أنها تتكون من محولى قنطرة ثلاثية الوجه بتحكم كامل.

والجدير بالذكر أنه بالنسبة لمحولات القنطرة الثلاثية الوجه والمزدوجة المثالية، فإنه عندما يكون مجموع زوايا إشعال كلا المحولين يساوى °180، فإن الجهد المحصل على أطراف المحرك سيساوى صفراً، وينتج عن ذلك، توقف للمحرك.

ولكن بالنسبة لمحولات القنطرة الثلاثية الوجه والمزدوجة الغير مثالية، فإنه حتى ولو كان مجموع زوايا إشعال المحولين يساوى °180، فإن الجهد المحصل لن يساوى صفراً نتيجة للذبذبات الموجودة على خرج المحولين، وبالتالي يعمل هذا الفرق فى الجهد على إمرار تيار بين المحولين؛ لذلك يجب التحكم فى هذا التيار الدائر Circulating Current، ويوجد طريقتان مختلفتان للتحكم فى المحولات المزدوجة الأحادية الوجه والثلاثية الوجه، وهما كما يلى:

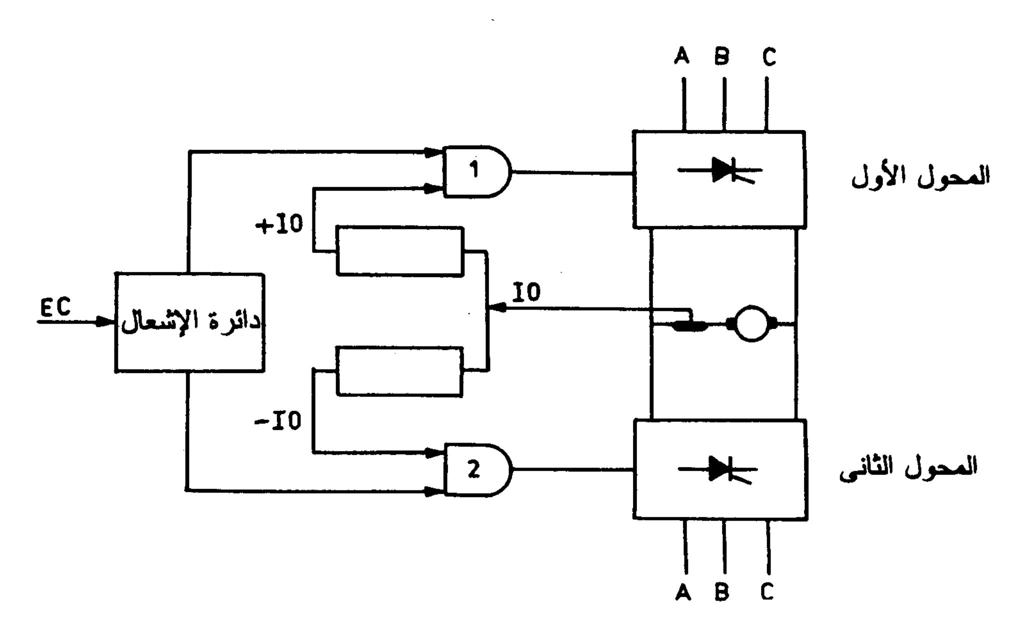
١ - العمل بدون تيار دوار، وذلك بجعل أحد المحولين فى حالة وصل والآخر فى حالة قطع.

الشكل (١ - ٢٦)

٢ – العمل بتيار دوار مع تحديد التيار الدوار باستخدام ملفات خنق Reactors توصل بين أطراف التيار المستمر للمحولين.

أولا: المحولات المزدوجة بدون تيار دوار:-

يمكن منع مرور التيار الدوار بالطريقة الموضحة بالشكل (١ – ٢٧)



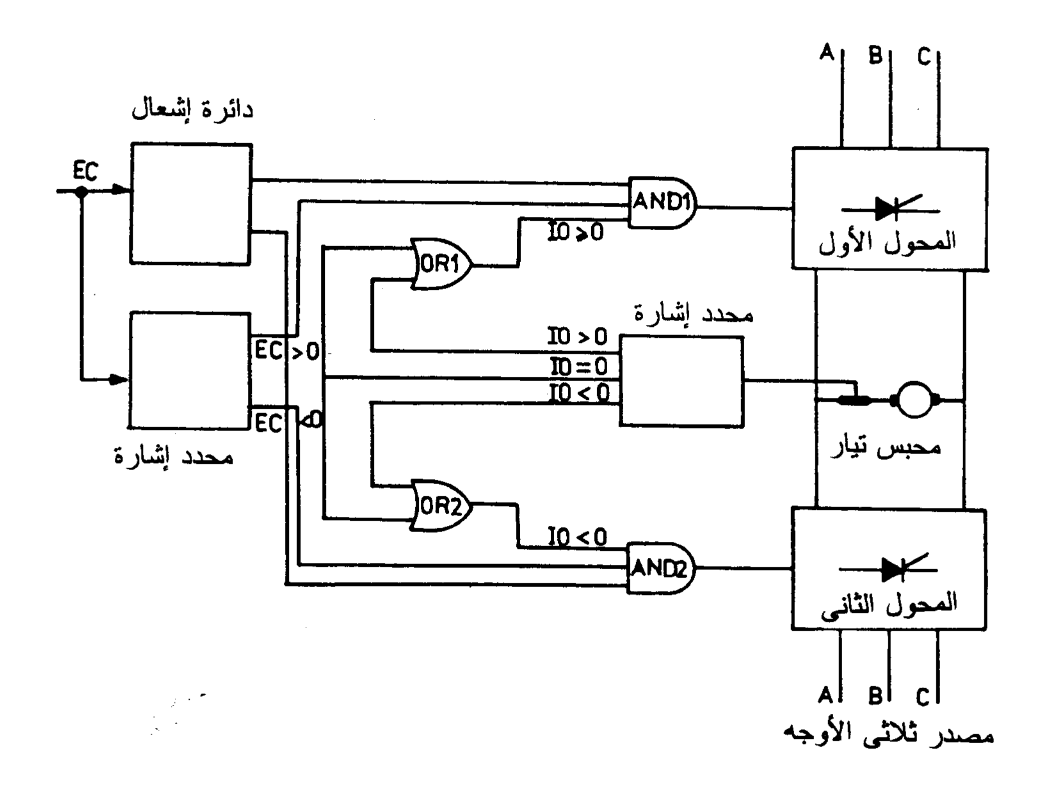
الشكل (١ – ٢٧)

فإذا كان تيار المحرك I_O بالموجب فإنه يسمح لنبضات الإشعال بالوصول للمحول الأول، وإذا كان تيار المحرك بالسالب فإنه يسمح لنبضات الإشعال بالوصول للمحول الثانى.

والشكل (١ – ٢٨) يعرض طريقة أخرى لعمل المحول وذلك تبعًا لإشارة كل من الجهد والتيار.

فإذا كانت E_C (جهد التحكم فى دائرة الإشعال والقادم من المنظمات الالكترونية) مساوية للصفر فإن إشارات الإشعال لن تصل لكلا المحولين الكاملين، وإذا كانت $E_C > 0$ وتيار المحرك يساوى صفرًا أو موجبًا فإن المحول الأول يصل له نبضات الإشعال. وإذا كان $E_C < 0$ وتيار المحرك صفرًا أو بالسالب تصل نبضات

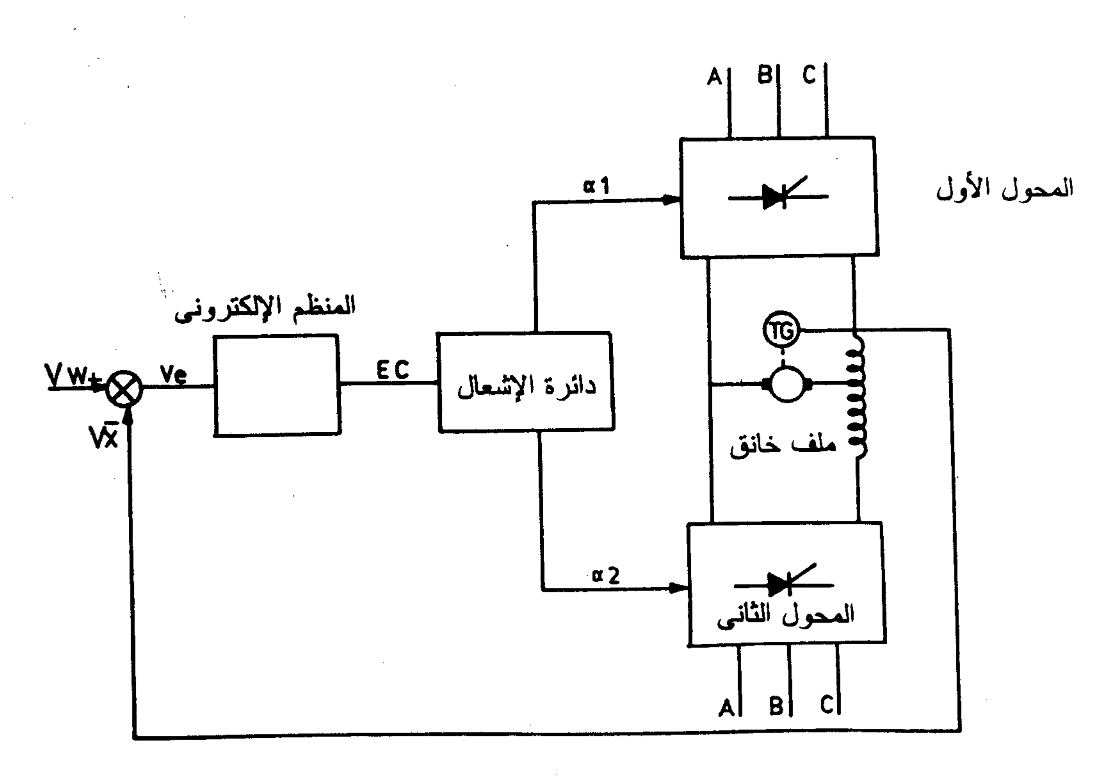
الإشعال للمحول 2. وعادة فإن التيار المار فى المحرك يكون متقطعًا وغير مستمر، كما أنه عندما يكون خرج المحول الأول أكبر من القوة الدافعة الكهربية العكسية للمحرك، وتم تحويل نبضات الإشعال من المحول الأول إلى المحول الثانى، فإن ذلك يؤدى لمرور تيار عابر Transient Current، ويمكن تحديد هذه التيارات إما بترك فترة زمنية عند الانتقال من محول لآخر أو بضبط خرج المحول الداخل حتى يتلاءم مع الجهد الفعلى على أطراف المحرك.



الشكل (١ – ٢٨)

ثانيا: المحولات المزدوجة بتيار دوار:

الشكل (١ – ٢٩) يعرض المخطط الصندوقى لمحول مزدوج بتيار دوار فى دائرة تحكم مغلقة.



الشكل (١ - ٢٩)

١ - نظرية عمل هذا المحول :

١ - **عند الدوران الطبيعي للمحرك جهة عقارب الساعة :** يكون جهد التحكم فى دائرة الإشعال E_C موجباً فيعمل المحول الأول على تغذية المحرك بالتيار الكهربى فى حين يحمل المحول الثانى التيار الدوار ويكون فى حالة قطع OFF .

٢ - **عند زيادة سرعة المحرك عن السرعة المطلوبة :** يحدث أحياناً زيادة سرعة المحرك عن السرعة المطلوبة والمقابلة لجهد المرجع V_W بفعل ظروف تشغيل معينة، على سبيل المثال : عند انخفاض حبل ونش بحمل ثقيل فى اتجاه الجاذبية الأرضية، أو عند حركة عربة كهربية على منحدر .

وبالتالى فإن الجهد المقابل للسرعة V_X سوف يكون أكبر من جهد المرجع V_W، وبالتالى يصبح جهد الخطأ والذى يساوى :

$$V_e = V_W - V_X \rightarrow 1.9$$

بالسالب، فتقل قيمة جهد التحكم E_C وتتأخر زاوية إشعال المحول الأول α_1 فيقل تيار المحرك للصفر، ويستمر تناقص E_C حتى يصبح جهد المحرك أكبر من جهد المحول 1، فينعكس اتجاه التيار فى المحرك ويعمل كمولد، فيحدث فرملة للمحرك وصولا للسرعة المطلوبة. وفى هذه الحالة تصبح قيمة V_e (جهد الخطأ) بالموجب ونعود للحالة الطبيعية للتشغيل، وبهذه الطريقة تعود سرعة المحرك للسرعة المطلوبة.

٣ - **عكس اتجاه دوران المحرك**: لعكس اتجاه دوران المحرك يجب عكس قطبية جهد المرجع V_W ولكن اتجاه المحرك لن ينعكس لحظياً، حيث تصبح إشارة الخطأ والتى تساوى:

$$V_e = V_W - V_X$$

بالسالب، فيقل جهد التحكم E_C، وتتأخر زاوية إشعال المحول الأول $\alpha 1$ فيقل تيار المحرك للصفر، ويستمر تناقص E_C حتى يصبح جهد المحرك أكبر من جهد المحول1 فينعكس اتجاه التيار فى المحرك، ويعمل كمولد فيحدث فرملة للمحرك وتنخفض سرعة المحرك وصولاً للصفر، وتبدأ زوايا إشعال المحول الثانى α_2 فى التزايد فيدور المحرك فى عكس اتجاه عقارب الساعة وصولاً للسرعة المطلوبة والمقابلة لجهد المرجع V_W.

وتستخدم دائرة تحكم فى التيار أحياناً لمنع تعدى تيار المحرك للتيار المقنن، وذلك من أجل الحماية.

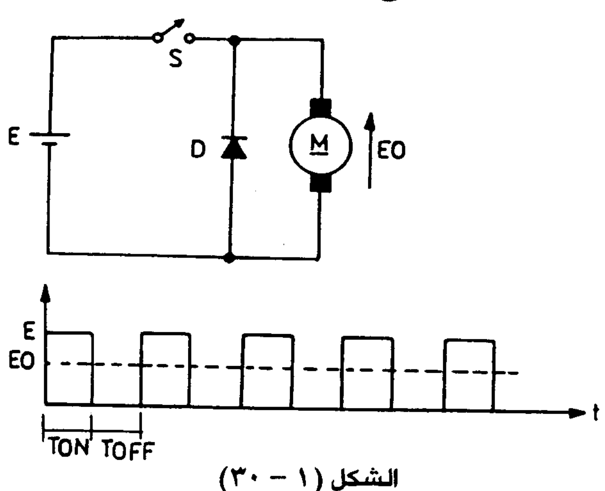
والجدول (١ - ٣) يعقد مقارنة بين المحولات المزدوجة بتيار دوار ومثيلتها بدون تيار دوار.

الجدول (١ - ٣)

محولات مزدوجة بدون تيار دوار	محولات مزدوجة بتيار دوار
- تحتاج أحياناً لملفات Reactors لجعل تيار المحرك مستمراً وغير متقطع.	- تحتاج دائماً لملفات وهذا يكون مكلفاً.
- الكفاءة عالية.	- الكفاءة منخفضة.
- تيار المحرك عادة يكون متقطعاً.	- تيار المحرك عادة يكون مستمراً.
- تحتاج لدوائر تحكم رقمية معقدة.	- بسيطة فى التنفيذ
- الاستجابة بطيئة لوجود تقطع فى التيار.	- الاستجابة سريعة.

١ / ٨ - مقطعات التيار المستمر DC Choppers :

تقوم المقطعات بتحويل جهد مستمر ثابت القيمة إلى جهد مستمر متغير القيمة . والشكل (١ - ٣٠) يوضح فكرة عمل المقطعات .



الشكل (١ - ٣٠)

ويتكون المقطع من مصدر جهد مستمر، ومفتاح الكترونى يقوم بتقطيع الجهد المستمر، وثنائى حدافة D . ويتحول المفتاح S لحالة الوصل والفصل لتقليل القيمة المتوسطة للجهد على أطراف المحرك E_O . وخلال الزمن الذى يكون فيه المفتاح S مغلق ON يصل التيار الكهربى للمحرك من مصدر الجهد المستمر عبر المفتاح S، وعندما يكون المفتاح S مفتوح OFF يمر التيار الكهربى فى كل من ملفات المحرك وثنائى الحدافة، نتيجة لتوليد قوة دافعة كهربية حثية عند انقطاع التيار الكهربى عن المحرك على أطرافه، وتعرف القيمة المتوسطة للجهد على أطراف المحرك بالمعادلة التالية :

$$E_O = E \frac{T_{ON}}{T_{ON} + T_{OFF}} \quad \rightarrow 1.10$$

حيث إن :

E_O هى القيمة المتوسطة للجهد المسلط على المحرك .

E هى جهد المصدر المستمر.

T_{ON} هو زمن بقاء المفتاح مغلقاً .

T_{OFF} هو زمن بقاء المفتاح مفتوحاً.

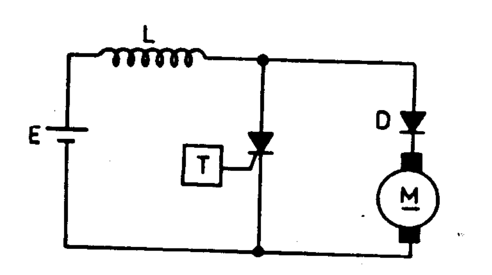
وعند تساوى T_{ON} مع T_{OFF} يصبح:

$$E_O = \frac{1}{2} E$$

وتعرف طريقة تغيير الجهد المتوسط بتغيير زمن الوصل T_{ON} وزمن الفصل T_{OFF} مع ثبات زمن الدورات (أى بثبات التردد) بالتضمين بنبضات متغيرة العرض PWM. وهذه الطريقة من أكثر الطرق المعروفة فى التحكم فى الجهد، وهناك طريقة ثانية تعرف بطريقة التضمين بنبضات متغيرة التردد PFM، حيث يثبت زمن الوصل T_{ON} مع تغير زمن القطع T_{OFF} وبالتالى يتغير التردد.

ويتراوح تردد المقطعات ما بين ($500 : 2500\ H_Z$)، وتستخدم المقطعات على نطاق واسع فى الصناعة فى النقل مثل روافع الشوكة Fork lift والأوناش الكهربية والسيارات العاملة بالبطاريات وفى مجالات أخرى مثل القاطرات الكهربية.

ويطلق على المقطعات التى تحدثنا عنها بالمقطعات الخافضة Step-down choppers، حيث إن القيمة المتوسطة للجهد على أطراف المحرك تكون أقل من جهد المصدر. وهناك نوع آخر من المقطعات يسمى بالمقطعات الرافعة Step up choppers. والشكل (١ – ٣١) يبين نموذجاً لأحد المقطعات الرافعة.



الشكل (١ – ٣١)

فعند تحول المفتاح (الثايرستور) لحالة الوصل تنتقل القدرة الكهربية من المصدر لتخزن فى الملف L، وعندما يتحول المفتاح (الثايرستور) لحالة القطع تنتقل القدرة الكهربية من المصدر والملف لتغذية المحرك فيزداد جهد المحرك عن جهد المصدر.

وتوجد أنواع مختلفة من المقطعات حسب نوعية أشباه الموصلات المستخدمة فيها مثل:

١ – المقطعات الثايرستورية.

٢ – المقطعات الترانزستورية.

٣ – مقطعات Mosfet.

٤ – مقطعات الثايرستورات ذات بوابة الإطفاء GTO.

١ / ٩ – المقطعات الثايرستورية Thyristor choppers:

تنقسم المقطعات الثايرستورية حسب طريقة إطفاء ثايرستوراتها الرئيسة إلى :

١ – إطفاء بالحمل Load Commutation، حيث يحدث إطفاء للثايروستور نتيجة لانخفاض تيار الحمل المار فيه للصفر أو عند تحول مسار التيار المار فى الثايروستور لمسار آخر بالدائرة.

٢ – إطفاء جبرى Forced commutation، ففى الإطفاء الجبرى فإن تيار الثايرستور يجبر لكى يصبح صفراً وذلك لتحويله لحالة الفصل، وهناك طريقتان لتحقيق ذلك وهما:

أ – إطفاء بالجهد Voltage commutation : ويتحقق ذلك بعمل انحياز عكسى للثايروستور بواسطة مكثف مشحون.

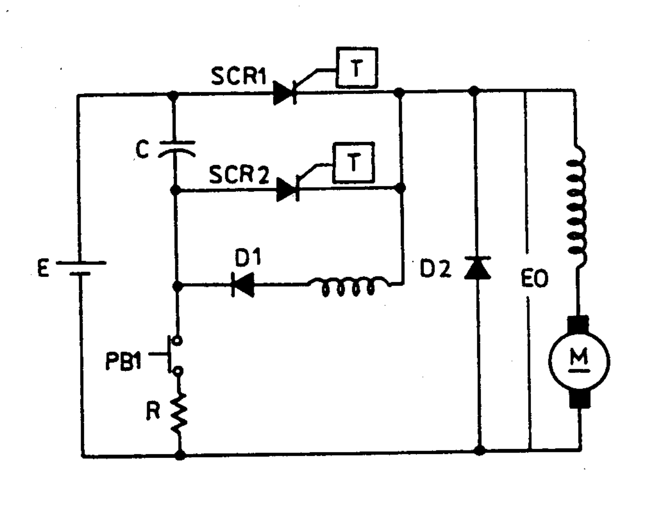
ب – إطفاء بالتيار Current commutation : ويتحقق ذلك بحقن تيار فى الاتجاه العكسى للثايرستور، وعندما يصبح التيار المار بالثايرستور مساوياً الصفر يتحول الثايروستور لحالة الفصل.

١ / ٩ / ١ – الإطفاء الجبرى بالجهد:

الشكل (١ – ٣٢) يعرض دائرة مقطع ثايروستورى يعمل بإطفاء جبرى بالجهد، وتستخدم هذه الدائرة على نطاق واسع فى الصناعة.

ولبدء تشغيل الدائرة يجب شحن المكثف C بإحدى الطريقتين التاليتين، وهما:

أ - بالضغط على الضاغط PB_1 فيشحن المكثف C خلال المسار E ثم C، ثم PB_1، ثم R. ويصبح اللوح العلوى للمكثف بشحنة موجبة.



الشكل (١ - ٣٢)

ب - بوصول نبضة إشعال للثايروستور SCR_2 أولاً فيحدث شحن للمكثف C خلال المسار E، ثم C، ثم SCR_2، ثم المحرك، وبمجرد تمام شحن المكثف C ينقطع مرور تيار الشحن فيتحول الثايرستور SCR_2 لحالة القطع.

وعند وصول نبضة إشعال للثايرستور SCR_1 فإن التيار يمر فى مسارين، الأول يمر تيار الحمل عبر SCR_1 وصولاً للمحرك، والثانى تيار الإطفاء ويمر خلال المسار C ثم SCR_1، ثم L ثم D_1 فتنعكس الشحنة على المكثف C، ويقوم الثنائى D_1 بمنع تفريغ المكثف C فى المحرك، ويصبح اللوح السفلى للمكثف موجباً واللوح العلوى سالباً.

وعند وصول نبضة إشعال للثايرستورSCR_2 فإن المكثف C يصبح موصلا بالتوازى مع الثايرستور SCR_2، فيحدث انحياز عكسى للثايرستور SCR_2 فيتحول لحالة القطع، وبعد ذلك فإن المكثف C يمرر تيار للمحرك فى المسار E ثم C، ثم SCR_2، وصولاً للمحرك، وبمجرد تمام شحن المكثف فى الاتجاه المعاكس، حيث يصبح اللوح العلوى موجباً واللوح السفلى سالباً فيتحول الثايرستور SCR_2 لحالة القطع لانعدام مرور التيار فى المكثف، وهذا يحدث عندما يكون الجهد على أطراف المكثف مساوياً لجهد المصدر ويحدث مرور لتيار المحرك عبر ثنائى الحدافة D_2. حينئذ تصل نبضة إشعال للثايرستور SCR_2 وتتكرر دورة التشغيل.

ويعـاب على هـذه الدائـرة ضـرورة شـحن المكثف C فى البدايـة، إما بالضغط على الضاغط PB_1 أو بتصـميم دائرة منطقـة تسـمح بإشـعال الثـايرسـتور SCR_2 أولاً. وأيضاً قد يصل الجهد على أطـراف المحرك ضعف جهد المصـدر لحظيـاً أثناء عملية إطفاء الثايرستور SCR_1. وتستخدم المعادلات التالية لحساب قيمة المكثف C والملف L:

$$C = \frac{2I_S T_{OFF}}{E} \rightarrow 1.11$$

$$C\left(\frac{E}{I_S}\right)^2 \leq L \leq \frac{0.01T^2}{\pi^2 C} \rightarrow 1.12$$

حيث إن:

I_S تيار البدء للمحرك.

T_{OFF} زمن تحول الثايرستور لحالة القطع.

E جهد المصدر.

T هو مقلوب تردد وصل وفصل المقطع (الزمن الدورى للمقطع).

فمثلا: إذا كان:

$$I_S = 100A \; T_{OFF} = 20\ \mu S, E = 100V, F = 400\ HZ$$

فإن:

$$C = \frac{100 \times 40 \times 10^{-6}}{100} = 40\ \mu F$$

$$L \leq \frac{0.01\ (2.5 \times 10^{-3})}{\pi^2\ (40 \times 10^{-6})}$$

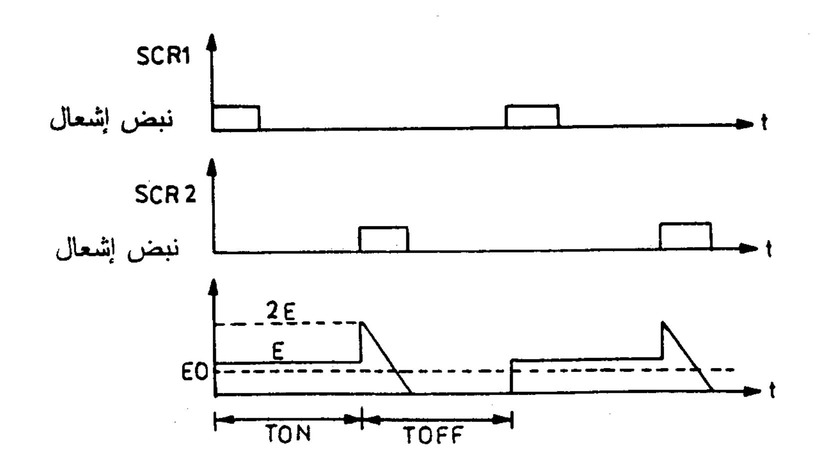
$$L \leq 158.5\ \mu H$$

$$L \geq 40 \times 10^{-6} \left(\frac{100}{100}\right)^2$$

$$L \geq 40 \mu H$$

فيمكن اختيار L مساوية 40 µH.

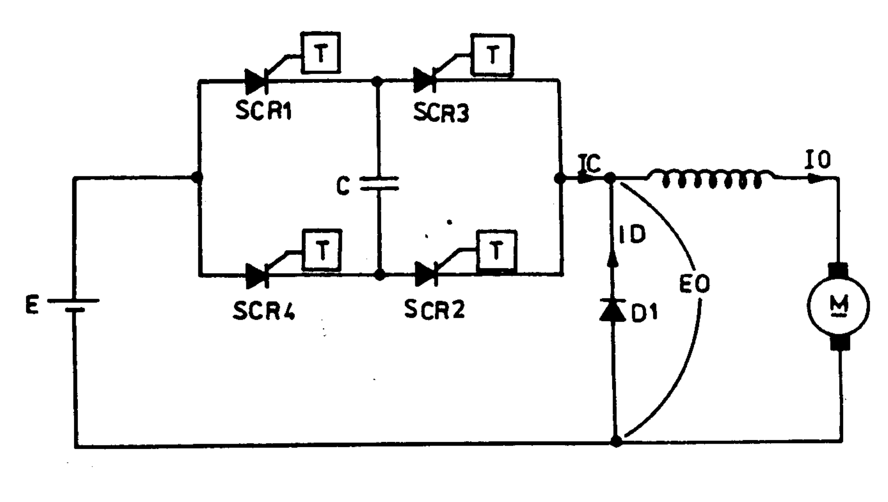
والشكل (١-٣٣) يعرض شكل نبضات الإشعال وموجة الجهد على أطراف المحرك لهذا المقطع الذى نحن بصدده .



الشكل (١-٣٣)

الإطفاء بالحمل Load Commutation

الشكل (١-٣٤) يعرض دائرة لمقطع ثايرستورى يستخدم طريقة الإطفاء بالحمل لإطفاء الثايرستورات الرئيسة



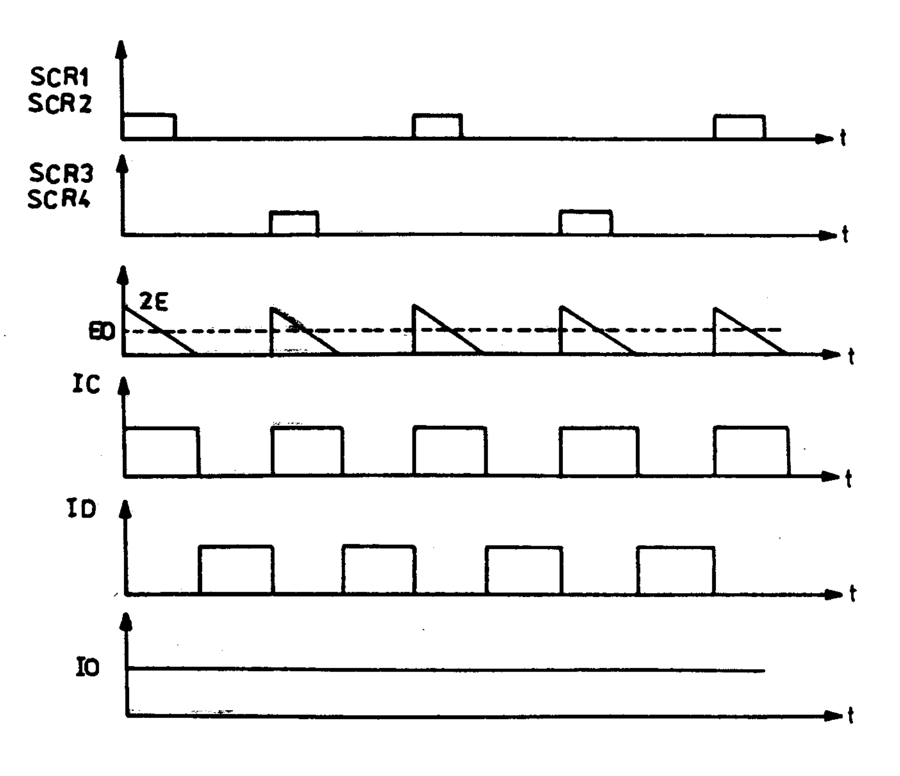
الشكل (١-٣٤)

ففى البداية تصل نبضة إشعال إلى الثايرستورات الرئيسية SCR_1 , SCR_2 فيمر التيار الكهربى عبر المسار E ثم SCR_1 ثم SCR_2 وصولاً للمحرك فيشحن المكثف C بشحنة موجبة وعندما يصبح جهد المكثف C مساويًا لجهد المصدر E ينقطع مرور التيار الكهربى عبر الثايرستورات SCR_1 , SCR_2 ويتحولان لحالة القطع، ويتغير مسار التيار المار بالمحرك فيمر عبر المحرك وثنائى الحدافه D_1، وعند وصول نبضات إشعال لكل من SCR_3, SCR_4 يتغير مسار تيار المحرك فيمر فى المسار E ثم SCR_4 ثم C ثم SCR_3 وصولاً للمحرك، فيصبح الجهد المسلط على المحرك مساويًا 2E، ثم ينخفض الجهد المسلط على المحرك نتيجة لتفريغ شحنة المكثف ليصبح مساويًا E، وبعد ذلك يشحن المكثف بشحنة سالبة، وعندما يصبح الجهد على أطراف المكثف مساويًا E – يتوقف مرور التيار فى هذا المسار وتتحول الثايرستورات SCR_3, SCR_4 لحالة القطع، ويتغير مسار تيار المحرك فيمر عبر المحرك وثنائى الحدافة D_1، وعند وصول نبضات إشعال لكل من SCR_1, SCR_2 يتغير مسار تيار المحرك فيمر التيار الكهربى فى المسار E ثم SCR_1 ثم C ثم SCR_2 وصولاً للمحرك، ويصبح جهد المحرك مساويًا 2E، ثم يقل الجهد على أطراف المحرك مع تفريغ المكثف C، وعندما يحدث تفريغ كامل للمكثف C يبدأ المكثف بالشحن بشحنة موجبة، وعندما يصبح الجهد على أطراف المكثف مساويًا E+ يتوقف مرور التيار ويبدأ مرور التيار فى المحرك بواسطة ثنائى الحدافة، وهكذا.

والشكل (١-٣٥) يبين نبضات إشعال الثايرستورات وموجة الجهد على أطراف المحرك وموجة تيار المكثف I_C وتيار ثنائى الحدافه I_D وتيار المحرك I_O.

ويلاحظ أن العلاقة بين تيار المكثف I_C، وتيار ثنائى الحدافه، I_D وتيار المحرك I_O كما يلى:

$$I_O = I_C + I_D \rightarrow 1.13$$



الشكل (١-٣٥)

والجدير بالذكر أن سعة المكثف C نحصل عليها من المعادلة التالية :

$$C = \frac{I}{2\,EF} \rightarrow 1,14$$

حيث إن :

I أقصى قيمة لتيار المحرك .

E جهد المصدر المستمر.

EF أقصى تردد للمقطع.

فإذا كان : $I = 100\ A$ $\qquad E = 100\ V$ $\qquad F = 5\ KHZ$

$$C = \frac{100}{2 \times 100 \times 5000} = 100\ \mu f$$

المقطعات الترانزستورية Transistor Choppers

الشكل (١-٣٦) يعرض مقطع ترانزستورى بسيط، حيث يتم التحكم فى وصل وفصل الترانزستور مع تغيير زمن الوصل والفصل، أى يعمل بالتضمين بنبضات متغيرة العرض PWM .

ويقوم ثنائى الحدافة D بالسماح بمرور تيار فى المحرك أثناء تحول الترانزستور لحالة القطع، وهذا واضح من شكل الموجات فى الشكل ذاته .

والجدير بالذكر أن العلاقة بين تيار المحرك I_O، وتيار ثنائى الحدافة I_D. وتيار مجمع الترانزستور I_C كالآتى

$$I_O = I_D + I_C$$

كما أن موجة الجهد على أطراف المحرك هى المتمم لموجة الجهد بين مجمع وباعث الترانزستور V_{CE} .

وعادة تستخدم ترانزستورات دارلنجتون للتحكم فى سرعة محركات التيار المستمر ذات القدرات العالية .

وتستخدم الدائرة السابقة لتشغيل محرك تيار مستمر يدور فى اتجاه واحد، ولا تعطى إمكانية لفرملة المحرك، أى أن هذا المقطع يعمل فى الربع الأول فقط .

والشكل (١-٣٧) يبين مقطع ترانزستورى يتحكم فى محرك تيار مستمر، يمكن إدراته فى اتجاهين، وكذلك إيقافه بفرملة فى كلا الاتجاهين، ويسمى هذا المقطع بقنطرة H .

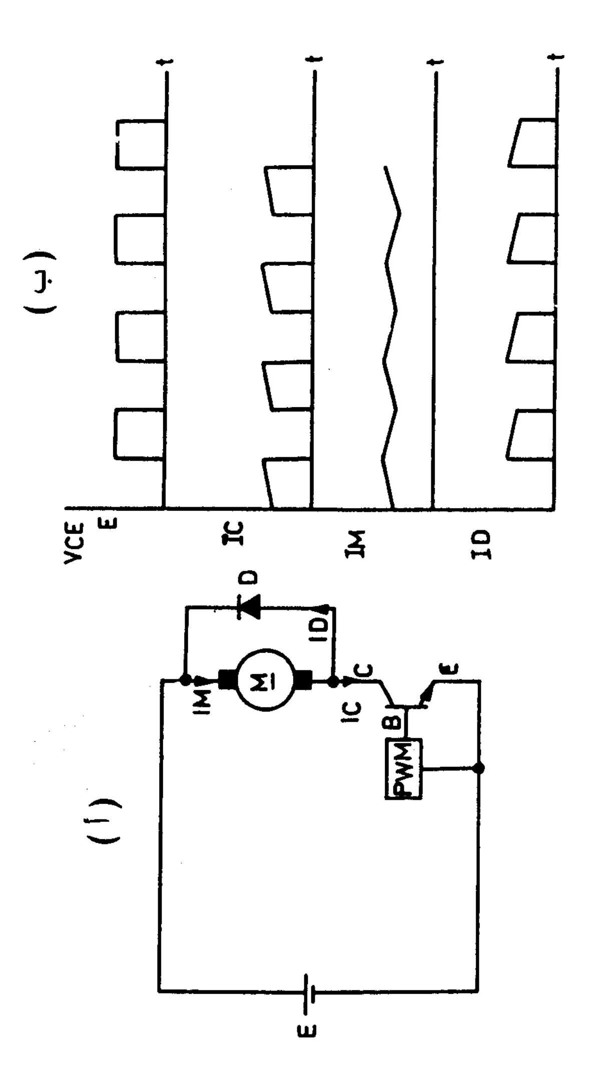
حيث إن :

الموجة 1 : موجة تيار المحرك عند الدوران فى اتجاه عقارب الساعة .

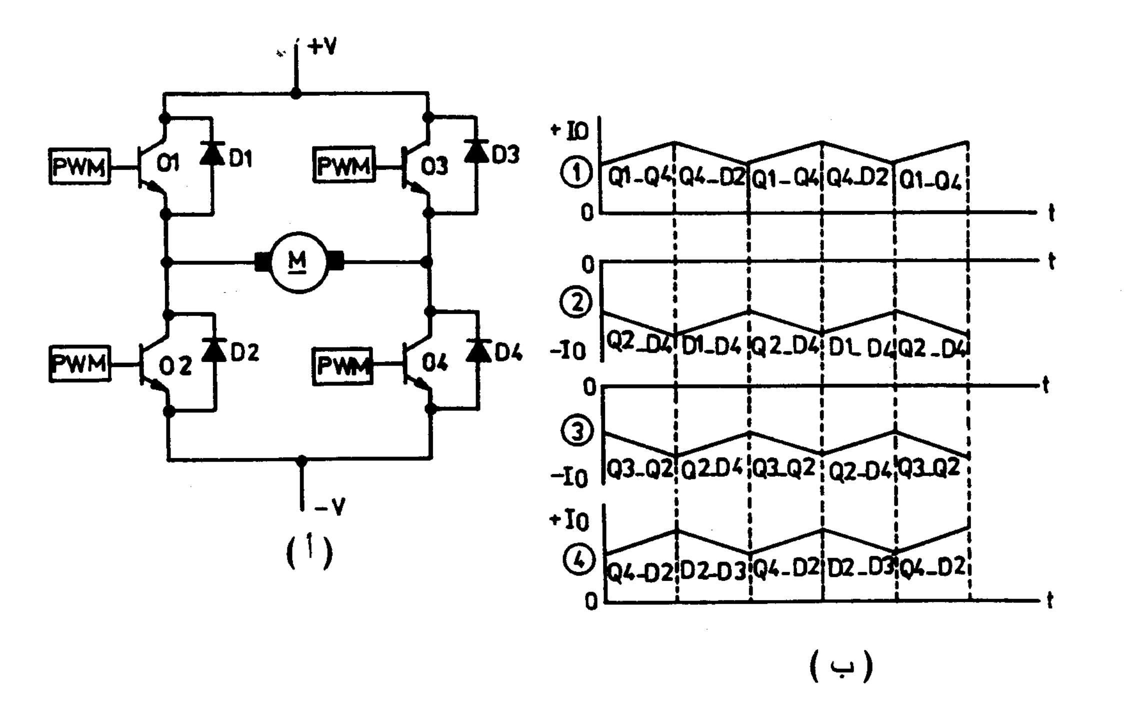
الموجة 2 : موجة تيار المحرك عند فرملته أثناء دورانه فى اتجاه عقارب الساعة .

الموجة 3 : موجة تيار المحرك عند الدوران عكس اتجاه عقارب الساعة .

الموجة 4 : موجة تيار المحرك عند فرملته أثناء دورانه فى عكس اتجاه عقارب الساعة .



الشكل (١ - ٣٦)


+V
PWM
Q1
D1
PWM
Q3
D3
M
PWM
Q2
D2
PWM
Q4
D4
-V
(أ)
+I0
①
Q1-Q4
Q4-D2
Q1-Q4
Q4-D2
Q1-Q4
0
t
0
t
②
-I0
Q2-D4
D1-D4
Q2-D4
D1-D4
Q2-D4
0
t
③
-I0
Q3-Q2
Q2-D4
Q3-Q2
Q2-D4
Q3-Q2
+I0
④
Q4-D2
D2-D3
Q4-D2
D2-D3
Q4-D2
0
t
(ب)

الشكل (١ - ٣٧)

ويكون المحرك المستخدم فى هذه الدائرة إما بمغناطيس دائم أو بتغذية منفصلة. ولإدارة المحرك فى اتجاه عقارب الساعة CW فإن الترانزستورات Q_1, Q_4 يتحولان لحالة الوصل، وبمجرد وصول تيار المحرك I_O لقيمته العظمى فإن Q_1 يتحول لحالة الفصل حتى يسمح للتيار بالعبور فى ثنائى الحدافة D_2 والترانزستور Q_4 بعد ذلك يتحول Q_1لحالة الوصل مرة أخرى، وتتكرر دورة التشغيل.

ولفرملة المحرك عند دورانه فى اتجاه عقارب الساعة فإن كلاً من Q_1, Q_4 يتحولان لحالة الفصل، ثم يتحول Q_2 لحالة الوصل، وبالتالى يمر تيار المحرك عبر Q_2, D_4 مما يؤدى لانعكاس اتجاه مرور التيار فى المحرك.

ويمكن إعادة القدرة للمصدر مرة أخرى وذلك بتحويل Q_2 لحالة الفصل، فتنتقل القدرة الكهربية من المحرك عبر D_1 للمصدر، ثم تحويل Q_2 لحالة الوصل مرة أخرى، وهكذا حتى يحدث فرملة للمحرك.

ولإدارة المحرك فى عكس اتجاه عقارب الساعة فإن الترانزستورين Q_2, Q_3 يتحولان لحالة الوصل وبمجرد وصول تيار المحرك Io لقيمته العظمى فإن Q_3 يتحول لحالة الفصل حتى يسمح للتيار بالعبور فى ثنائى الحدافة D_4 والترانزستور Q_2، ثم بعد ذلك يتحول Q_3 لحالة الوصل مرة أخرى وتتكرر دورة التشغيل.

ولفرملة المحرك عند دورانه فى عكس اتجاه عقارب الساعة، فإن كلاً من Q_3, Q_2 يتحولان لحالة الفصل، ثم يتحول Q_4 لحالة الوصل، وبالتالى يمر تيار المحرك عبر Q_4 و D_2 مما يؤدى لانعكاس اتجاه مرور التيار فى المحرك، ويمكن إعادة القدرة للمصدر مرة أخرى وذلك بتحويل Q_4 لحالة الفصل فتنتقل القدرة الكهربية من المحرك عبر D_3 للمصدر، ثم تحويل Q_4 لحالة الوصل مرة أخرى، وهكذا حتى تحدث فرملة للمحرك.

١ / ١١ – مقطعات Mosfet:

لقد انتشرت مقطعات Mosfet بشكل ملحوظ فى الصناعة، ويرجع ذلك للأسباب التالية:

١– ترانزستور Mosfet يتم التحكم فيه بإشارة جهد وليس بإشارة تيار، حيث يحتاج لتيار صغير جداً لتشغيله، مما يؤدى لصغر حجم دائرة التحكم فيه.

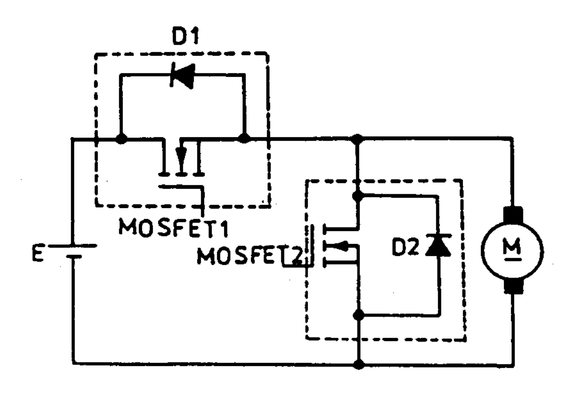
٢– البوابة G معزولة عن المصدر S.

٣- يمكن توصيل أكثر من ترانزستور Mosfet بالتوازى معًا لزيادة سعة التيار، الأمر الذى لا يمكن تحقيقه مع الثايرستورات SCR والترانزستورات العادية، وبالتالى يمكن توصيل عدة ترانزستورات Mosfet على التوازى للوصول بتيارات تصل إلى مئات الأمبيرات.

٤- يمكن أن يعمل Mosfet عند ترددات عالية مقارنة بالثايرستور والترانزستور العادى، مما يساعد على الاستغناء عن ملف مجال التوازى اللازم استخدامه مع المحركات التى تعمل بالمقطعات الثايرستورية والمقطعات الترانزستورية لتنعيم خرجها، نظرًا لانخفاض تردداتها.

والشكل (١ - ٣٨) يعرض مقطع Mosfet، يعمل فى ربعين، الأول والرابع، ويتحكم فى محرك بمجال توازى أو مجال يغذى خارجيًا أو بمغناطيس دائم.

وحتى يدور المحرك فى اتجاه عقارب الساعة فإن Mosfet 1 يكون فى حالة ON، فى حين يكون Mosfet 2 فى حالة Off، ويعمل D_2 كثنائى حدافة أثناء فصل Mosfet 1.



الشكل (١- ٣٨)

وحتى يفرمل المحرك فإن Mosfet 2 يكون فى حالة ON، فى حين يكون Mosfet 1 فى حالة OFF، ويعمل D_1 فى هذه الحالة كثنائى حدافة أثناء فصل Mosfet 2.

١ / ١٢ بادئات الحركة لمحركات التيار المستمر.

١ / ١٢ / ١ بادئ حركة بمقاومات بدء:

الشكل (١-٣٩) يعرض دائرة بادئ حركة لمحرك تيار مستمر بدون استخدام مقاومات بدء.

فعند غلق المفتاح S_1 يتحول TH_1 لحالة الوصل، ويمر التيار في المحرك مروراً بالمقاومات R_4 ,R_3 ,R_2، ويشحن المكثف C_3، في حين يمر تيار المجال Field بمجرد غلق القاطع الرئيسي Q_1.

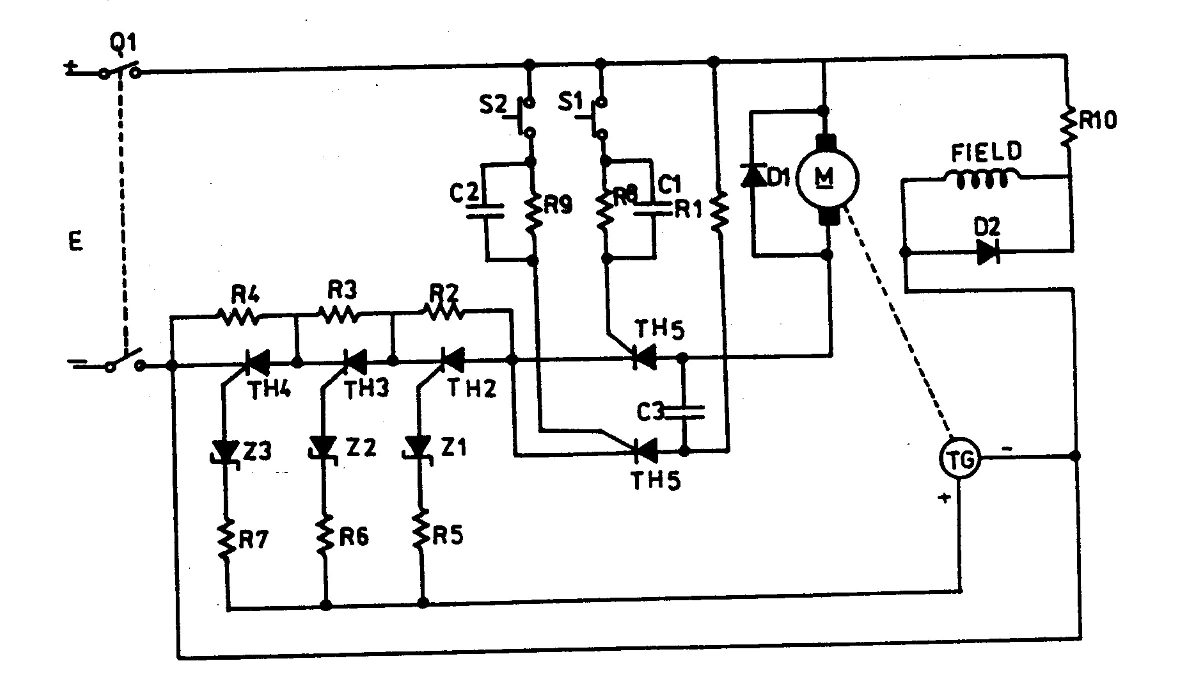
وعند زيادة سرعة المحرك تزداد القوة الدافعة الكهربية العكسية المتولدة على أطراف المحرك، فيقل التيار المار في المحرك ويزداد جهد مولد التاكو TG وعند وصول جهده لجهد انهيار ثنائي الزينر Z_1 يحدث إشعال للثايرستور TH_2، فيحدث قصر على المقاومة R_2، فيزداد الجهد المسلط على المحرك، ويزداد تيار المحرك، وتباعًا يزداد عزم المحرك وسرعته.

ونتيجة لزيادة سرعة مولد التاكو TG وعند وصوله لجهد انهيار ثنائي الزينر Z_2 يشتعل الثايرستور TH_3، فيحدث قصر على المقاومة R_3 فيزداد التيار، ثم العزم ثم السرعة، ويحدث انهيار لثنائي الزينر Z_3 فيشتعل الثايرستور TH_4 ، ويحدث قصر على المقاومة R_4، وبالتالي تكون جميع المقاومات قد خرجت من دائرة المحرك ليصبح جهد المحرك مساويًا لجهد المصدر.

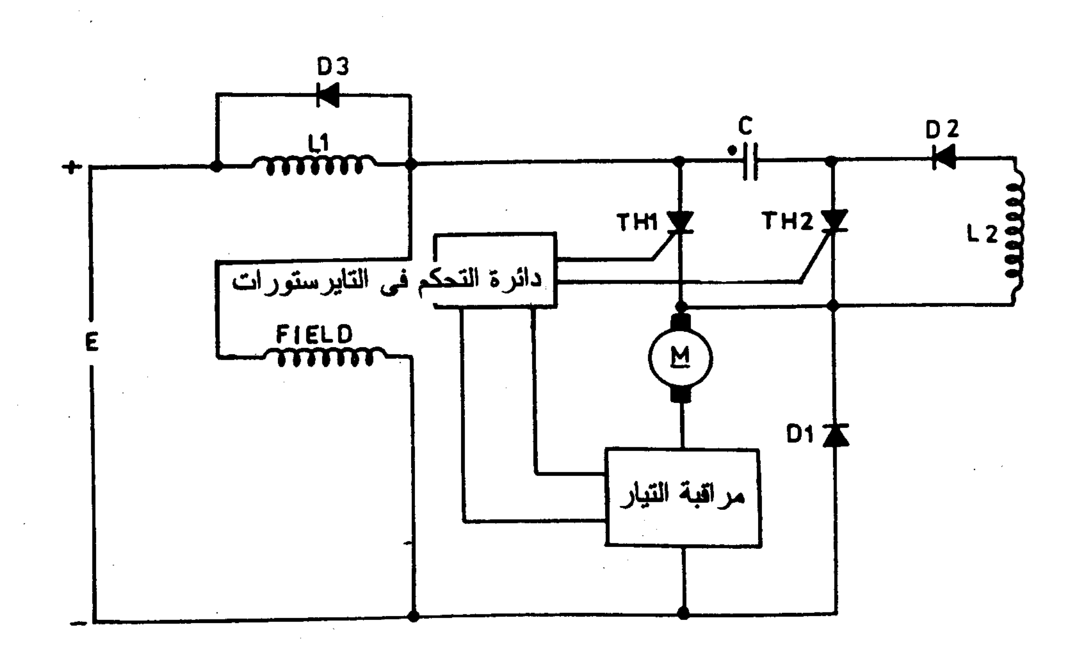
والجدير بالذكر أن ثنائيات الزينر Z_1, Z_2, Z_3 تختار بحيث تعمل عند ($\frac{3}{4}$ و $\frac{1}{2}$ و $\frac{1}{3}$) السرعة الكاملة للمحرك، وتختار المقاومات (R_2, R_3, R_4) لتحديد التيار المار في المحرك عند البدء، ولإيقاف المحرك يتم الضغط على الضاغط S_2 فيتحول TH_5 لحالة الوصل، فيقوم المكثف C_3 بتفريغ شحنته ليحدث انحياز عكسي للثايرستور TH_1، فيتحول لحالة القطع وينقطع مرور التيار في الدائرة، فتتحول الثايرستورات TH_2 , TH_3 , TH_4 , TH_5 لحالة القطع، ويتوقف المحرك.

١ / ١٢ / ٢- بادئ حركة بدون مقاومات بدء:

الشكل (١-٤٠) يعرض دائرة بادئ حركة محرك تيار مستمر بدون مقاومات بدء


Q1
E
S2
S1
C2
R9
R8
C1
R1
D1
M
FIELD
R10
D2
R4
R3
R2
TH5
TH4
TH3
TH2
C3
TH5
Z3
Z2
Z1
TG
R7
R6
R5

الشكل (١ - ٣٩)



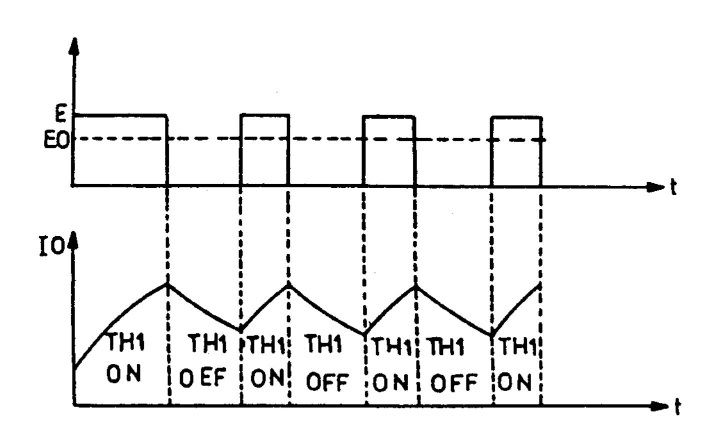
الشكل (١-٤٠)

ففى البداية تقوم دائرة التحكم فى إشعال التايرستورات بإشعال TH_2 فيتحول لحالة الوصل ويشحن المكثف C، ويكون اللوح الموجب هو اللوح المشار عليه بنقطة. وبمجرد أن يشحن المكثف C فإن TH_2 ينطفئ طبيعيًا لانقطاع مرور التيار الكهربى فيه، ثم بعد ذلك تصل إشارة إشعال للثايرستور TH_1 فيمر التيار الكهربى فى الدائرة، وفى نفس الوقت يفرغ المكثف C شحنته خلال TH_1، وتكتمل الدائرة بواسطة L_2, P_2، وذلك نتيجة لطبيعة التذبذب لهذه الدائرة بواسطة L_2,C، ويشحن المكثف بشحنة معاكسة، ويقوم الثنائى D_2 بتحقيق ذلك، ويكون الجهد عند اللوح المشار عليه بنقطة E+ وعند اللوح الآخر 2E+. وعند زيادة تيار عضو الاستنتاج للحدود القصوى المسموح بها تصل إشارة إلى TH_2 فيتحول لحالة الوصل، ويحدث تفريغ للمكثف C خلال TH_2، فيحدث انهيار عكسى للثايرستور TH_1، ويتحول لحالة القطع، وتتكرر دورة التشغيل عند انخفاض التيار فى الدائرة للقيمة المطلوبة.

والجدير بالذكر أن هذه الدائرة يمكن أن تتحكم فى سرعة المحرك فى نفس الوقت، وذلك بعمل TH_1 كمقطع يتحكم فى الجهد المتوسط على أطراف المحرك، ويعمل L_1

على تقليل معدل التغير فى تيار المحرك، وبالتالى يحمى TH_1، فى حين يعمل الثنائى D_1 على إمرار تيار المحرك أثناء تحول TH_1 لحالة القطع.

والشكل (١-٤١) يبين العلاقة بين جهد أطراف المحرك، والزمن، وتيار المحرك المقابل مع الزمن.



الشكل (١-٤١)

الباب الثانى

التحكم الالكترونى فى آلات

التيار المتردد

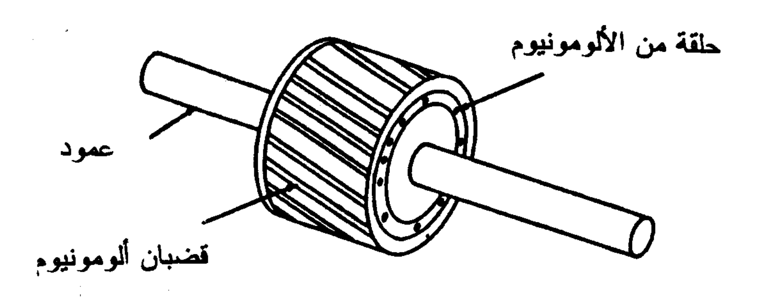
التحكم الالكترونى فى آلات التيار المتردد

٢ / ١- تركيب المحرك الاستنتاجى الثلاثى الأوجه 3 ϕ I nduction Motor

يتركب المحرك الاستنتاجى بصفة عامة من عضو ثابت Stator وعضو دوار Rotor .
وهناك نوعان من العضو الدوار: الأول يسمى العضو الدوار الملفوف Wound rotor،
والثانى يسمى العضو الدوار ذو القفص السنجابى Squirrel-Cage rotor .

والجدير بالذكر أن أكثر من 99% من المحركات الاستنتاجية تكون محركات بقفص سنجابى لبساطتها وعدم حاجتها للصيانة .

والشكل (٢-١) يعرض نموذجًا لعضو دوار من نوع القفص السنجابى .



الشكل (٢-١)

ويكون هذا العضو الدوار على شكل قفص اسطوانى، ويصنع من قضبان من الألومنيوم، وتقصر هذه القضبان فى نهايتها بحلقتين من الألومنيوم، ولا يوجد عازل بين هذه القضبان لصغر الجهد المتولد فيها، وتوضع هذه القضبان داخل قلب مغناطيس مصنوع من الحديد السليكونى، ويثبت هذا العضو الدوار على عمود shaft معدنى، أما العضو الثابت فيكون على شكل اسطوانى فى الغالب، ويحتوى بداخله على أسنان Teeth ومجارى Slots طولية، حيث يدفن بداخل هذه المجارى ملفات المحرك .

٢ / ٢- توصيل المحركات الاستنتاجية الثلاثية الأوجه بالمصدر الكهربى :

يتم توصيل ملفات المحركات الاستنتاجية الثلاثية الأوجه إما نجمًا Star أو دلتا

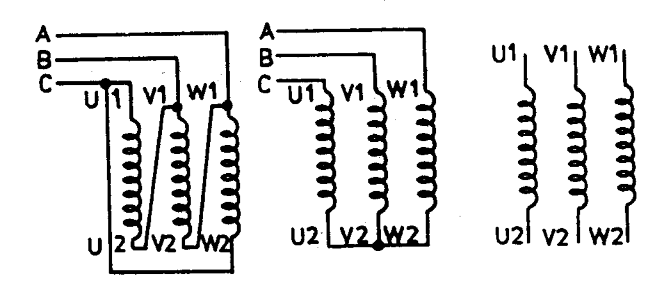
Delta مع المصدر الكهربى، ويعتمد ذلك على المواصفات الفنية للمحرك وجهد المصدر الكهربى.

فمثلاً : إذا كانت مواصفات محرك استنتاجى :

Δ/Y 220/380V

فإنه يتم توصيل المحرك دلتا Δ إذا كان جهد الخط للمصدر الكهربى 220V، فى حين يجب توصيل ملفات المحرك نجمًا Y إذا كان جهد الخط للمصدر الكهربى 380V.

والشكل (٢-٢) يبين شكل الملفات الثلاثة للمحرك (الشكل أ)، وطريقة توصيلها نجمًا Y (الشكل ب) وطريقة توصيلها دلتا Δ (الشكل جـ)



الشكل (٢-٢)

فالشكل أ يبين أن المحرك الاستنتاجى الثلاثى الأوجه له ثلاث ملفات، فالملف الأول $U_1 - U_2$، والملف الثانى $V_1 - V_2$، والملف $W_1 - W_2$.

أما الشكل ب فيبين طريقة توصيل الملفات نجمًا Y حيث تقصر الأطراف U_2, V_2, W_2 معًا وتوصل الأطراف U_1, V_1, W_1 بالأوجه الثلاثة للمصدر الكهربى A,B,C.

أما الشكل جـ فيبين طريقة توصيل الملفات دلتا Δ، حيث تقصر الأطراف $W_1 - U_2$، $V_2 - U_1$ و $W_2 - V_1$ معًا، وتوصل الأطراف U_2, V_2, W_2 مع أطراف الأوجه الثلاثة للمصدر A,B,C.

ويمكن عكس اتجاه دوران بعكس وجهين من أوجه المصدر، مثل عكس الوجه A مع الوجه B، أو الوجه B، مع الوجه C، أو الوجه A مع الوجه C.

٢ / ٣- نظرية عمل المحرك الاستنتاجي الثلاثي الأوجه :

عند توصيل أطراف المحرك الاستنتاجي الثلاثي الأوجه مع الأوجه الثلاثة للمصدر الكهربي يتولد مجال مغناطيس دوار داخل فراغ العضو الثابت.

وتكون سرعة هذا المجال الدوار مساويه للسرعة التزامنية N_S.

والمعادلة 2.1 تبين العلاقة بين السرعة التزامنية N_S وتردد المصدر الكهربي **F** وعدد أقطاب المحرك P :

$$N_S = \frac{120F}{p} \rightarrow 2.1$$

فمثلاً : إذا كان تردد المصدر $50H_Z$ وعدد أقطاب المحرك أربعة أقطاب، فإن السرعة التزامنية تساوى :

$$N_S = \frac{120 \times 50}{4} = 1500 \text{ RPM}$$

ويقوم هذا المجال الدوار بقطع قضبان العضو الدوار فيتولد جهد كهربي بالحث في هذه القضبان، ويمر تيار كهربي فيها، حيث إن هذه القضبان تكون مغلقة على بعضها، ونتيجة لمرور هذا التيار في قضبان العضو الدوار يتولد مجال مغناطيس آخر، ونتيجة لتقاطع المجالين يتولد عزم يقوم بإدارة العضو الدوار في اتجاه دوران المجال الدوار للعضو الثابت، ويحاول العضو الدوار اللحاق بالمجال الدوار ولكنه يفشل؛ لأنه لو نجح لتوقف المحرك في الحال؛ لأن المجال الدوار في هذه الحالة لن يستطيع أن يقطع قضبان العضو الدوار لتساوى سرعتيهما، وبالتالي يختفى كل من الجهد والتيار المتولد في العضو الدوار.

ويوجد عادة انزلاق **Slip** بين العضو الدوار والمجال الدوار؛ وذلك لأن سرعة العضو الدوار أقل من سرعة المجال الدوار.

والمعادلة 2.2 تبين العلاقة بين الانزلاق **S** والسرعة التزامنية N_S وسرعة المحرك الفعلية N :

$$S = \frac{N_S - N}{N_S} \rightarrow 2.2$$

والجدير بالذكر أن تردد الجهد المتولد في قضبان العضو الدوار F_r يساوى :

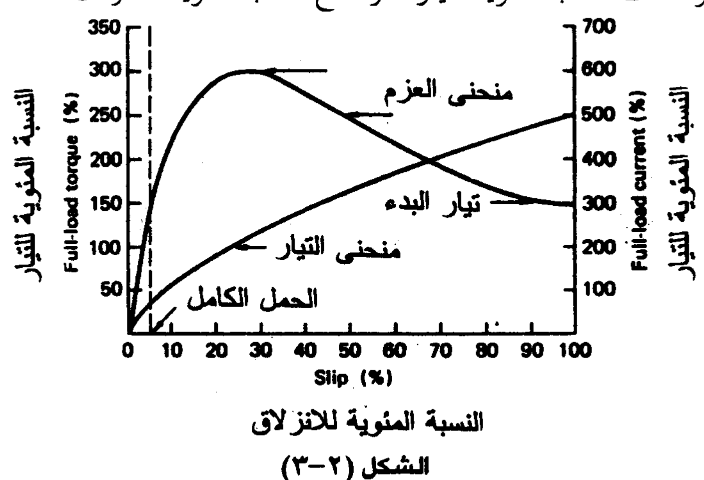
$$F_r = SF \rightarrow 2.3$$

حيث إن : S الانزلاق

F تردد المصدر الكهربى

٢ / ٤- خواص الحمل للمحركات الاستنتاجية الثلاثية الأوجه :

الشكل (٢-٣) يبين العلاقة البيانية بين النسبة المئوية للعزم مع النسبة المئوية للانزلاق، وكذلك النسبة المئوية لتيار المحرك مع النسبة المئوية للانزلاق .



النسبة المئوية للانزلاق

الشكل (٢-٣)

ويلاحظ من هذه العلاقة البيانية ما يلى :

١- عندما تكون السرعة المئوية للانزلاق 100% (أى أن سرعة المحرك صفراً) فإن التيار المسحوب يساوى 500% من تيار الحمل الكامل، ويسمى هذا التيار بتيار البدء، فى حين أن العزم يساوى 150% من عزم الحمل الكامل، ويسمى هذا العزم بعزم البدء .

٢- يزداد عزم المحرك بزيادة السرعة، فى حين يقل تيار المحرك بزيادة السرعة حتى تصبح النسبة المئوية للانزلاق مساوية 30% عندما يكون العزم المحرك أكبر ما يمكن، ويساوى 350% من العزم الكامل، فى حين أن تيار المحرك يساوى 400% من تيار الحمل الكامل. والجدير بالذكر أن هذه المنطقة تسمى بالمنطقة الانتقالية لأن المحرك لا يستطيع أن يستقر فيها .

٣- عندما تكون النسبة المئوية للانزلاق من 30% (أى أن النسبة المئوية للسرعة أكبر من 70% من السرعة التزامنية) تتناقص كل من النسبة المئوية للعزم والتيار

وصولاً لنقطة التشغيل، والتى عندها يكون تيار المحرك مساويًا 100% من تيار الحمل الكامل، وتسمى هذه المنطقة بمنطقة التشغيل المستقر.

ونستنتج من هذه العلاقات البيانية ما يلى:

١- تصل شدة التيار المسحوب عند البدء إلى خمس مرات من تيار الحمل الكامل، فى حين أن العزم يساوى 1.5 مرة من عزم الحمل الكامل؛ لذلك ينصح عادة بتقليل تيار البدء تفاديًا لانخفاض الجهد فى الشبكة الكهربية، خصوصًا عند بدء المحركات الاستنتاجية ذات القدرات الكبيرة.

٢- كلما ازداد حمل المحرك (النسبة المئوية لعزم الحمل) تزداد النسبة المئوية لتيار المحرك وذلك فى منطقة تشغيل المحرك، وهذا قد يمثل خطورة عند زيادة تيار المحرك عن التيار المقنن لمدة طويلة؛ لذلك يجب حماية المحركات الاستنتاجية من زيادة الأحمال باستخدام قواطع المحركات MCB'S ، أو باستخدام متممات حرارية O.L .

٢ / ٥- التحكم فى سرعة المحركات الاستنتاجية:

يمكن التحكم فى سرعة المحركات الاستنتاجية الثلاثية الأوجه بإحدى الطريقتين التاليتين:

١- تغيير الجهد مع ثبات التردد.

٢- تغيير كل من التردد والجهد.

فيمكن تغيير السرعة بتغيير الجهد، وذلك لأن العزم يتناسب طرديًا مع الجهد، وبالتالى يمكن تقليل سرعة المحرك بتقليل جهد أطرافه، فعند ثبات الحمل تنخفض السرعة. ويمكن تغيير السرعة بتغيير التردد:

$$N = \frac{F}{p}$$

حيث إن:

F تردد المصدر.

P عدد أقطاب المحرك.

N سرعة المحرك.

وتتكون أجهزة التحكم فى سرعة المحركات الاستنتاجية بتغيير الجهد والتردد من :

١- لوحة الضواغط والمفاتيح التى يستخدمها المشغل فى التحكم فى سرعة واتجاه المحرك .

٢- وحدة تحويل القدرة Power Conversion unit .

وتتكون وحدة تحويل القدرة من عنصرين، وهما :

١- دائرة توحيد محكومة أو غير محكومة، تعمل على تحويل التيار المتردد لتيار مستمر .

٢- عاكس Inverter، يعمل على تحويل خرج دائرة التوحيد المستمر لخرج متردد بالتردد الملائم للسرعة المطلوبة .

والشكل (٢-٤) يبين المخطط الصندوقى لوحدة تحويل القدرة .

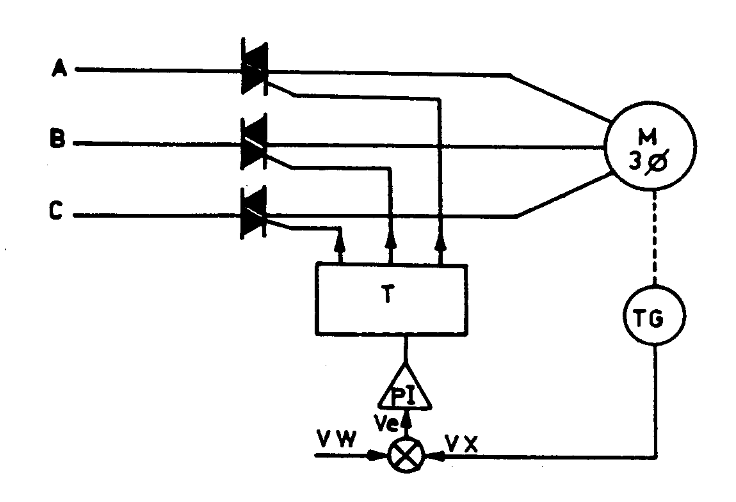
تردد متغير ←	عاكس Inverter	DC ←	دائرة توحيد	← تردد ثابت

الشكل (٢-٤)

٢ / ٦- تغيير سرعة المحركات الاستنتاجية بتغيير الجهد :

تشبه هذه الطريقة لحد كبير الطريقة المستخدمة فى التحكم فى سرعة محركات التيار المستمر بالتحكم فى القيمة المتوسطة للجهد، وذلك بتغيير زوايا إشعال الثايرستورات المستخدمة . أما فى هذه الحالة فيتم التحكم فى القيمة الفعالة للجهد المسلط على أطراف المحرك، وذلك بتغيير زوايا إشعال الترياكات المستخدمة . ولحسن الحظ يمكن استبدال أى ترياك بعدد 2 ثايرستور مثبتين خلف خلاف .

والشكل (٢-٥) يبين نظامًا مغلقًا للتحكم فى سرعة محرك استنتاجى ثلاثى الوجه بتغيير جهد أطرافه .



الشكل (٢-٥)

ففى هذا النظام يستخدم ثلاثة ترياكات للتحكم فى القيمة الفعالة لجهد أطراف المحرك، ويستخدم مولد تاكو TG لتحويل سرعة المحرك لجهد مستمر يتناسب طرديًا معها، وذلك من أجل الحصول على التغذية الخلفية Feed back، ومقارن لإيجاد الفرق بين جهد المرجع V_W وجهد التغذية الخلفية V_X للحصول على جهد الخطأ Ve، حيث إن:

$$V_e = V_W - V_X$$

ويمثل جهد الخطأ V_e دخلاً منظمًا تناسبيًا تكامليًا PI، ويتغير خرج هذا المنظم تبعًا لتغير إشارة الخطأ، ويتحكم خرج هذا المنظم فى زوايا إشعال الترياكات، ومن ثم يتحكم فى القيمة الفعالة للجهد على أطراف المحرك.

وتستخدم طريقة تغيير سرعة المحركات الاستنتاجية الثلاثية الوجه بتغير الجهد مع المحركات التى لا تتعدى قدرتها 100 HP.

والجدير بالذكر أن أنظمة التحكم المغلقة سوف نتناولها بالتفصيل فى الأبواب القادمة.

٢ / ٧- تغيير سرعة المحركات الاستنتاجية بتغيير الجهد والتردد:

توجد ثلاثة أنظمة لتغيير سرعة المحركات الاستنتاجية الثلاثية الأوجه بتغيير

الجهد والتردد، وهى كما يلى:

١- مغيرات جهد وتردد بعاكس بجهد متغير VVI .

٢- مغيرات جهد وتردد بعاكس يعمل بمبدأ PWM .

٣- مغيرات جهد وتردد بعاكس بمصدر تيار CSI .

٢ / ٧ / ١- مغيرات الجهد والتردد بعاكس بجهد متغير VVI :

وتتواجد فى صورتين وهما:

١- قنطرة توحيد مع مقطع ومرشح لتغيير قيمة الجهد، وعاكس لتحويل الجهد المستمر إلى متردد، بحيث تكون النسبة بين الجهد / التردد ثابتة، وهذا مبين بالشكل (٢-٦) .

٢- قنطرة توحيد محكومة مع مرشح لتحويل التيار المتردد لمستمر له جهد متغير، وذلك بالتحكم فى زوايا إشعال ثايرستورات قنطرة التوحيد المحكومة، وعاكس لتحويل الجهد المستمر لجهد متردد، بحيث تكون النسبة بين الجهد / التردد ثابتة، وهذا مبين بالشكل (٢-٧) .

والشكل (٢-٨) يعرض العلاقة بين الجهد والعزم مع التردد عند تغيير سرعة المحرك بتغيير الجهد والتردد.

ويلاحظ أن العلاقة بين الجهد والعزم مع التردد يمكن تقسيمها لمنطقتين، الأولى تسمى بمنطقة ثبات العزم، وتبدأ من السكون إلى السرعة المقننة، والثانية تسمى بمنطقة ثبات القدرة، وتبدأ من السرعات الأكبر من السرعة المقننة.

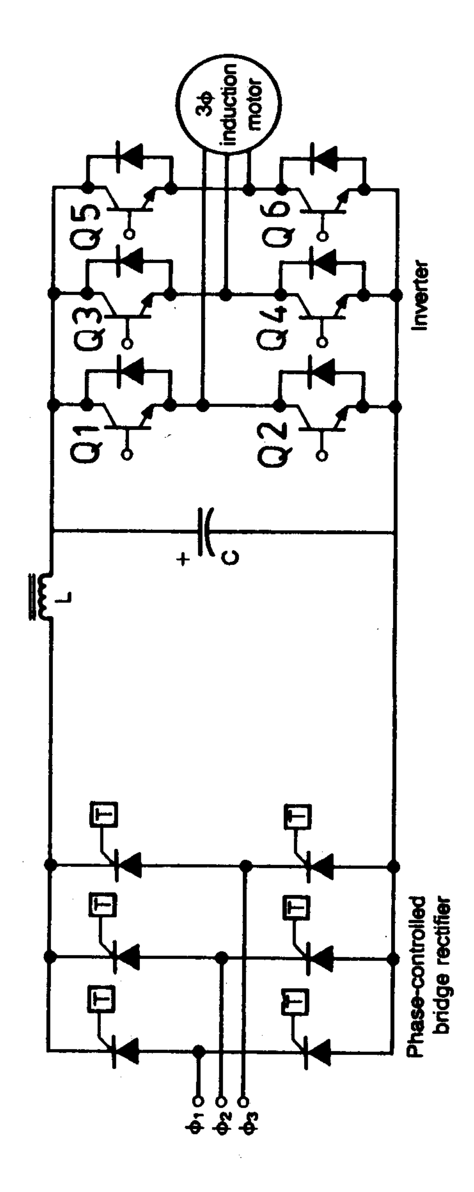
ويلاحظ أنه يجب المحافظة على النسبة بين الجهد / التردد للعمل فى منطقة ثبات العزم، فى حين يجب تثبيت جهد أطراف المحرك مع تغيير التردد فى منطقة ثبات القدرة.

ويمكن تقسيم عواكس الجهد المتغير VVI إلى:

١- عاكس بست خطوات وباثنين فى حالة وصل.

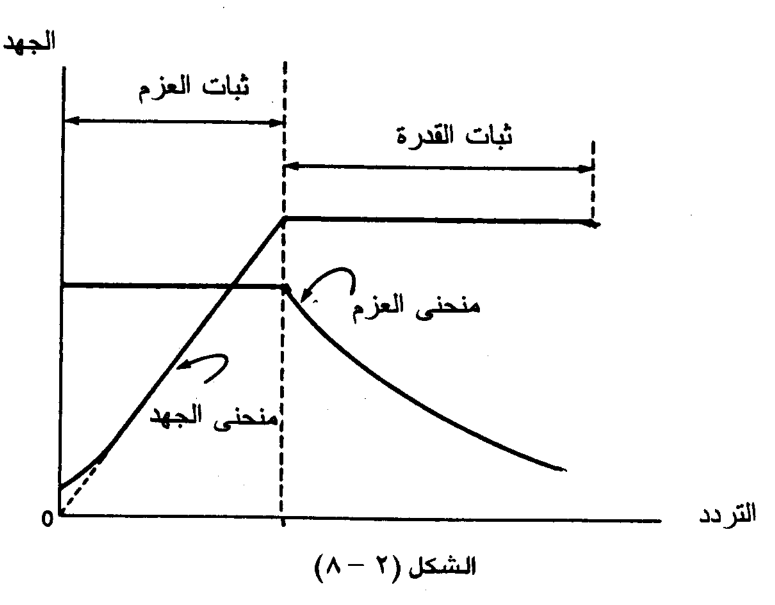
٢- عاكس بست خطوات وبثلاثة فى حالة وصل.

الشكل (٢ - ٦)



Phase-controlled bridge rectifier
Inverter
3φ induction motor
Q1
Q2
Q3
Q4
Q5
Q6
L
C
+
T
φ1
φ2
φ3

الشكل (٢ - ٧)



الشكل (٢ – ٨)

وسميت هذه العواكس بست خطوات لتشكل موجة جهد كاملة لكل وجه خلال ست خطوات، علمًا بأنه يوجد تماثل فى دائرة القدرة لكلا النوعين، أما الاختلاف فيكمن فقط فى دائرة التحكم لكليهما.

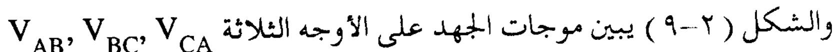
أولاً: العواكس ذات الست خطوات وباثنين فى حالة وصل:

الجدول (٢–١) يبين تتابع الوصل والفصل لترانزستورات عواكس VVI المبينة بالشكل (٢–٦) أو (٢–٧) للحصول على موجة جيبية ثلاثية الوجه عند الخرج بالتردد المطلوب، حيث إن 1 تعنى الترانزستور فى حالة وصل، 0 تعنى الترانزستور فى حالة قطع.

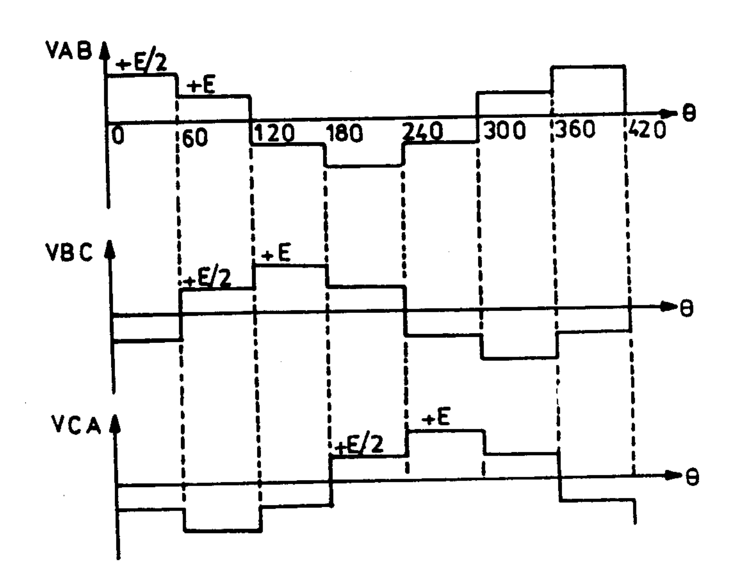
الجدول (٢–١)

الفترة / الترانزستور	0-60° 1	60-120° 2	120-180° 3	180-240 4	240-300 5	300-360 6
Q_1	1	1	0	0	0	0
Q_2	0	0	0	1	1	0
Q_3	0	0	1	1	0	0
Q_4	1	0	0	0	0	1
Q_5	0	0	0	0	1	1
Q_6	0	1	1	0	0	0

ويلاحظ من هذا الجدول أنه خلال أى خطوة فإن ترانزستورين يكونان فى حالة وصل، فمثلاً: أثناء الخطوة الأولى (الفترة °60 - 0) يكون Q_1, Q_4 فى حالة وصل، فى حين أنه فى الخطوة 2 (الفترة °120 - 60) يكون Q_1, Q_6 فى حالة وصل وهكذا.



والشكل (٢-٩) يبين موجات الجهد على الأوجه الثلاثة V_{AB}, V_{BC}, V_{CA}



الشكل (٢-٩)

ففى الفترة (°60-0) يكون Q_1, Q_4 فى حالة وصل، وبالتالى فإن جهد V_{AB} يساوى الجهد الموجب للمصدر المستمر E +،ويكون فرق الجهد V_{AC} مساوياً $\frac{1}{2}E$، أما فرق الجهد V_{BC} فيساوى $\frac{1}{2}$ E وهكذا.

ثانياً: العواكس ذات الست خطوات وبثلاثة فى حالة وصل:

الجدول (٢-٢) يبين تتابع وصل وفصل ترانزستورات عواكس VVI للحصول على موجة جيبية ثلاثية الأوجه عند الخرج بالتردد المطلوب، حيث إن 1 يعنى أن الترانزستور فى حالة وصل، 0 تعنى أن الترانزستور فى حالة قطع.

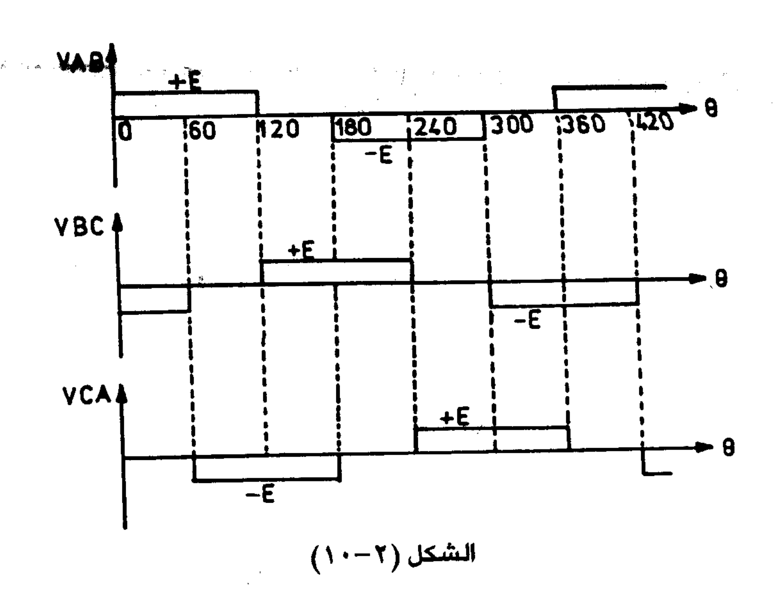
ويلاحظ من هذا الجدول أنه خلال أى خطوة (فترة) فإن ثلاثة ترانزستورات تكون فى حالة وصل، فمثلاً: فى الخطوة الأولى (الفترة 0-60°) يكون Q_1, Q_4, Q_5 فى حالة وصل وفى الخطوة الثانية (الفترة 60-120°) يكون Q_1, Q_4 , Q_6 فى حالة وصل وهكذا.

الجدول (٢-٢)

الفترة / الترانزستور	0 - 60 1	60-120 2	120-180 3	180-240 4	240-300 5	300-360 6
Q_1	1	1	1	0	0	0
Q_2	0	0	0	1	1	1
Q_3	0	0	1	1	1	0
Q_4	1	1	0	0	0	1
Q_5	1	0	0	0	1	1
Q_6	0	1	1	1	0	0

والشكل (٢-١٠) يبين موجات الجهد على الأوجه الثلاثة للمحرك

V_{AB}, A_{BC}, A_{CA}



الشكل (٢-١٠)

فيلاحظ أنه فى الفترة 0-60° يـكون Q_1, Q_4, Q_5 فى حالـة وصـل، وبالتـالى يصبح V_{AB} مساويًا E+ ، فى حين يصبح V_{BC} مساويًا E- ، ويصبح V_{CB} مساويًا صفراً، وهكذا.

وعمليًا يجب السماح بتأخير زمنى مقداره (10-15°) بين كل انتقال من موجب لسالب، وبذلك نمنع حدوث قصر نتيجة لغلق ترانزستورين متتامين فى نفس اللحظة.

فمثلاً: عند التدقيق فى الجدول (٢-٢) نجد أنه عند الانتقال من الفترة الثالثة للفترة الرابعة فإن الترانزستور Q_2 يغلق فى حين أن الترانزستور Q_1 يجب أن يفتح، ويحدث نتيجة لذلك قصر لحظى قد يسبب فى انهيار Q_1, Q_2 .

وفيما يلى أهم عيوب عواكس VVI ذات الخطوات الست:

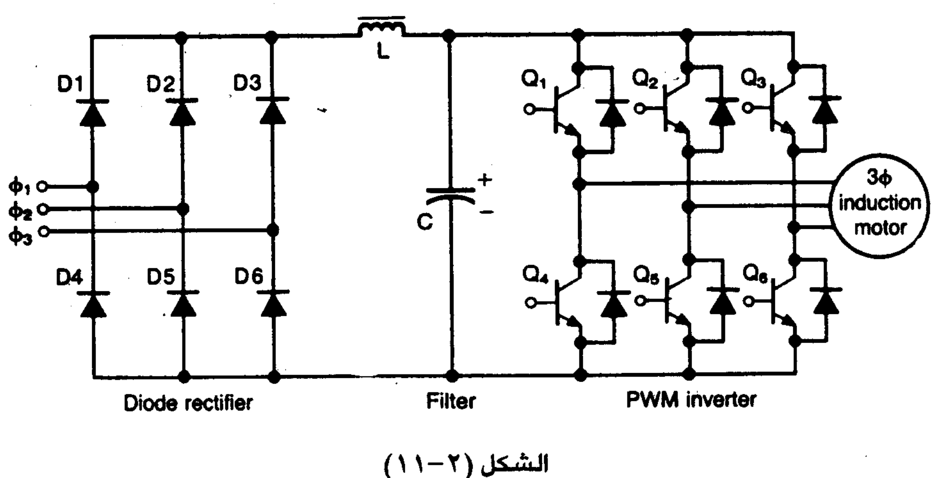
١ - فى أى لحظة يمر التيار الكهربى خلال إثنين أو ثلاثة مفاتيح الكترونية (ترانزستورات) هذا يزيد من تكلفة العاكس ويقلل من الكفاءة.

٢ - سوء شكل الموجات الخارجة من العاكس ذات الست خطوات، وهذا يسىء إلى أداء المحرك نتيجة لزيادة التوافقيات Harmonics فى التيار، خصوصًا عند السرعات المنخفضة.

٣ - عند السرعات المخفضة يكون الدوران غير ناعم بل به اهتزازات.

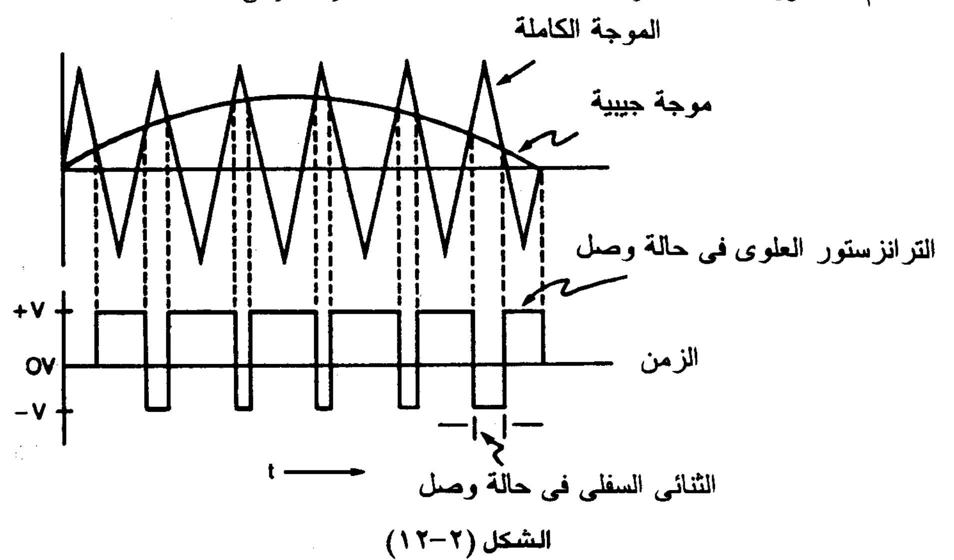
٢ / ٧ / ٢ - مغيرات جهد وتردد بعاكس يعمل بمبدأ PWM :

الشكل (٢-١١) يعرض مغير جهد وتردد بعاكس يعمل بمبدأ التضمين بنبضات متغيرة العرض PWM .



الشكل (٢-١١)

وفى هذا النظام يتم وصل وفصل الترانزستورات مرات عديدة خلال كل نصف دورة للحصول على جهد متغير يحتوى على توافقيات قليلة عند الخرج، وهناك تقنيات متعددة تعمل بمبدأ PWM . والشكل (٢-١٢) يبين فكرة عمل أحد النظم المشهورة لتضمين الموجات الجيبية بنبضات متغيرة العرض.



الشكل (٢-١٢)

حيث تقارن موجة مثلثة مع موجة الخرج الأساسية المطلوبة، وعند نقاط تقاطع الموجتين يحدث قطع للترانزستور، علماً بأن الموجة المثلثة يجب أن تكون متزامنة مع

الموجة الجيبية، خصوصاً فى السرعات المنخفضة. ويجب أن يكون عدد نبضات الموجة المثلثة التى تحدث خلال زمن نصف موجة جيبية عدد كامل يساوى مضاعف العدد ثلاثة لتقليل التوافقيات، ويمكن تغيير جهد الموجة الأساسية بتغيير التضمين (بتغيير تردد الموجة المثلثة).

وتعد طريقة التحكم فى الجهد بمبدأ PWM طريقة مقبولة فى منطقة العزم الثابت، ويتراوح تردد الموجة المثلثة ما بين (1.2: 2.5 KHZ) . ونظراً لقلة التوافقيات عند الترددات المنخفضة فإن ذلك يساعد على زيادة نطاق التحكم فى السرعة من سرعة الصفر إلى السرعة المقننة، كما يشجع على استخدام هذه الطريقة فى ماكينات الطباعة والنسيج وماكينات الورش.... إلخ.

٢ / ٧ / ٣ - مغيرات الجهد والتردد بعاكس بمصدر تيار ثابت C_{SI} :

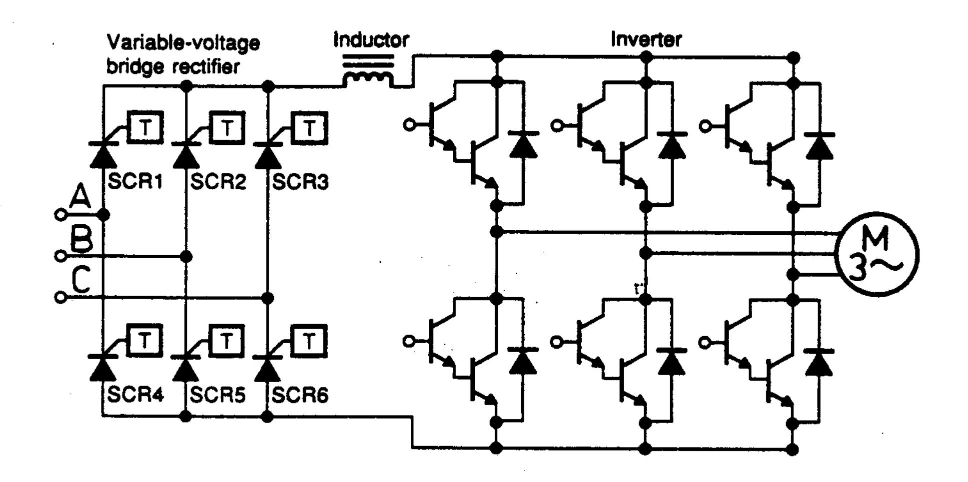
الشكل (٢-١٣) يبين دائرة القدرة لمغير جهد وتردد بعاكس بمصدر ثابت CSI، وهو يتكون من قنطرة توحيد محكومة لتحويل التيار المتردد للمصدر الكهربى إلى تيار مستمر له جهد متغير القيمة، وذلك بالتحكم فى زوايا إشعال ثايرستورات قنطرة التوحيد المحكومة، ويتم تحويل خرج قنطرة التوحيد المحكومة (الجهد المستمر المتغير القيمة) إلى تيار مستمر متغير القيمة بواسطة ملف كبير يوصل بالتوالى مع قنطرة التوحيد المحكومة، ثم بعد ذلك يتم تحويل هذا التيار المستمر لتيار متردد بالتردد المطلوب بواسطة عاكس يعمل بمبدأ الخطوات الست، أو بمبدأ التضمين بعرض النبضات PWM . تماماً، كما هو الحال مع العواكس التى تغذى بالجهد، سواء كانت (VVI) أو (PWM).

مميزات مغيرات الجهد والتردد بعاكس CSI :

١ - أداء أمثل للمحركات الاستنتاجية عند السرعات المنخفضة.

٢ - قيمة عظمى صغيرة للتيارات العابرة فى الترانزستورات.

٣ - عند حدوث خطأ فى العاكس يؤدى لارتفاع مقبول للتيار، وبالتالى يحد من



الشكل (٢-١٣)

الضرر الذى قد يلحق بها.

عيوب مغيرات الجهد والتردد بعاكس CSI :

١ – نطاق محدود للترددات، وعزم بدء صغير مقارن بمغيرات الجهد والتردد ذات عواكس VVI .

٢ – حجمها كبير نتيجة للحجم الكبير للملف.

٣ – غير متزنة عند الأحمال الخفيفة والسرعات العالية، لذلك تستخدم عادة مع القدرات المتوسطة والعالية للمحركات.

وللحصول على أداء أمثل لمغيرات الجهد والتردد للتحكم فى سرعة المحركات الاستنتاجية صممت عواكس مختلفة تعمل بالنظامين VVI وكذلك نظام CSI ، حيث يعتمد نوع النظام التى تعمل به هذه المغيرات على طبيعة الحمل، وبذلك نحصل على أداء أمثل عند السرعات العالية تماماً كما هو الحال فى حالة مغيرات الجهد والتردد بعواكس VVI ، وأيضاً أداء أمثل عند السرعات المنخفضة تماماً كما هو الحال فى حالة مغيرات الجهد والتردد بعواكس CSI .

٢ / ٨ - التحكم الالكترونى فى جهد أطراف المولدات التزامنية :

يوجد نوعان من المولدات التزامنية، الأول يحتوى على عضو استنتاج دوار (العضو الدوار يحمل الملفات الرئيسة للمولد التزامنى)، والثانى يحتوى على مجال دوار (تحمل ملفات المجال فى العضو الدوار للمولد) .

أولاً : المولدات التزامنية ذات عضو الاستنتاج الدوار :

فى هذا النوع فإن العضو الثابت يحتوى على ملفات المجال والتى تكون ملفوفة لتعطى عدداً من الأقطاب يساوى 2 أو 4 أو 8 أو ... إلخ وتغذى هذه الملفات بالتيار المستمر.

أما العضو الدوار فيمثل عضو الاستنتاج للمولد، حيث يحمل الملفات الرئيسة الثلاثية الأوجه، ويأخذ خرج هذه المولدات من على أربعة فرش كربونية مثبتة على أربع حلقات انزلاق، وهذه تمثل مشكلة فى العزل، كما أن ذلك يؤدى لحدوث شرر كهربى عند الفرش الكربونية وعادة تكون هذه المولدات ذات قدرات صغيرة .

ثانياً : المولدات التزامنية ذات المجال الدوار :

وفى هذا النوع فإن ملفات المجال المغناطيسى تثبت على العضو الدوار، أما العضو الثابت فيمثل عضو الاستنتاج حيث يحمل الملفات الرئيسة الثلاثية الأوجه، ويتم تغذية المجال الدوار بالتيار المستمر بواسطة فرشتين كربونيتين مثبتتين على حلقتى انزلاق، وهذا لا يمثل مشكلة نظراً لصغر تيار المجال وكذلك لصغر جهد المجال، أما الأحمال الكهربية للمولد فيمكن توصيلها مباشرة من ملفات الأوجه الثلاثة المثبتة على العضو الثابت .

ولقد أمكن فى التصميمات الجديدة للمولدات التزامنية ذات المجال الدوار الاستغناء عن حلقات الانزلاق والفرش الكربونية، بتثبيت مولد تزامنى صغير من نوع المولدات التزامنية ذات عضو الاستنتاج الدوار، وذلك لتغذية ملفات المجال مباشرة بعد توحيد خرجه بواسطة قنطرة توحيد دوارة أى مثبتة على العضو الدوار، ويطلق على هذا المولد الصغير اسم المثير أو مولد الإثارة Exiter .

والجدير بالذكر أن أغلب المولدات التزامنية المتوفرة فى الأسواق تكون مولدات تزامنية بمجال دوار. والشكل (٢-١٤) يبين طريقة التحكم فى جهد أطراف المولد التزامنى ذى المجال الدوار.

ويلاحظ أنه يتم التحكم فى جهد أطراف المولد التزامنى ذى المجال الدوار باستخدام حاكم جهد الكترونى AVR يغذى من خرج المولد الرئيسى، ويعمل هذا التحكم فى جهد أطراف مجال مولد الإثارة Exiter وبالتالى يتحكم فى جهد خرج الملفات الرئيسية الثلاثية الأوجه لمولد الإثارة، ويتم توحيد خرج مولد الإثارة بواسطة ثنائيات دوارة Rotating Diodes ، ومن ثم يتم التحكم فى جهد أطراف ملف المجال للمولد الرئيسى.

والجدير بالذكر أن السرعة التى يجب إدارة المولد التزامنى بها تسمى بالسرعة التزامنية N_S ، ونحصل عليها من المعادلة:

$$N_S = \frac{120\,F}{P} \rightarrow 2.1$$

حيث إن:

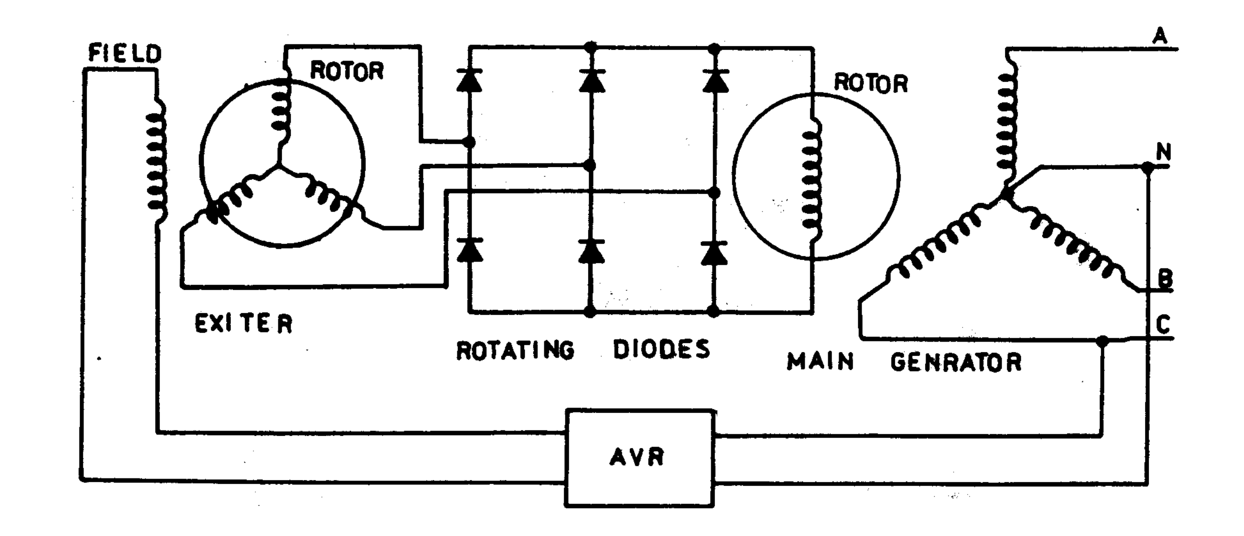
F التردد المطلوب لخرج المولد.

P عدد أقطاب المولد.

فإذا كان التردد المطلوب هو 50 H_Z وعدد أقطاب المولد 4 فإن:

$$N_S = \frac{120 \times 50}{4} = 1500\ \text{RPM}$$

أى أنه يجب إدارة المولد بسرعة تزامنية مقدارها 1500 RPM .


FIELD
ROTOR
EXITER
ROTATING DIODES
ROTOR
MAIN GENRATOR
A
N
B
C
AVR

الشكل (٢ - ١٤)

الباب الثالث

أساسيات التحكم الاسترجاعى

Feed Back Control

أساسيات التحكم الاسترجاعى

Feed back Control

٣ / ١ - مقدمة

يمكن وصف أى نظام تحكم بأنه مجموعة من العناصر التى تؤدى سويًا أداء معينًا للمحافظة على خرج الآلة عند المستوى المطلوب.

وهناك عدة أنواع لأنظمة التحكم: مثل التحكم الكهربى، والتحكم الميكانيكى، والتحكم الالكترونى. وفى هذا الكتاب سنركز على التحكم الالكترونى باستخدام مكبرات العمليات .Op. Amp .

والجدير بالذكر أن الهدف من التحكم ليس فقط المحافظة على خرج النظام أو الآلة عند المستوى المطلوب، ولكن يستخدم التحكم الاسترجاعى للتحكم فى العمليات الصناعية والآلات فى الظروف الصعبة، والتى لا يستطيع الإنسان أن يعمل فيها، بالإضافة إلى أن التحكم الاسترجاعى يعمل على رفع سرعة الإنتاج وجودته وانخفاض تكلفة التصنيع.

وحتى يتثنى للقارئ استيعاب تطبيقات التحكم الاسترجاعى يتطلب ذلك الإلمام بالموضوعات التالية:

الموضوع الأول: مكبرات العمليات والدوائر الأساسية لها.

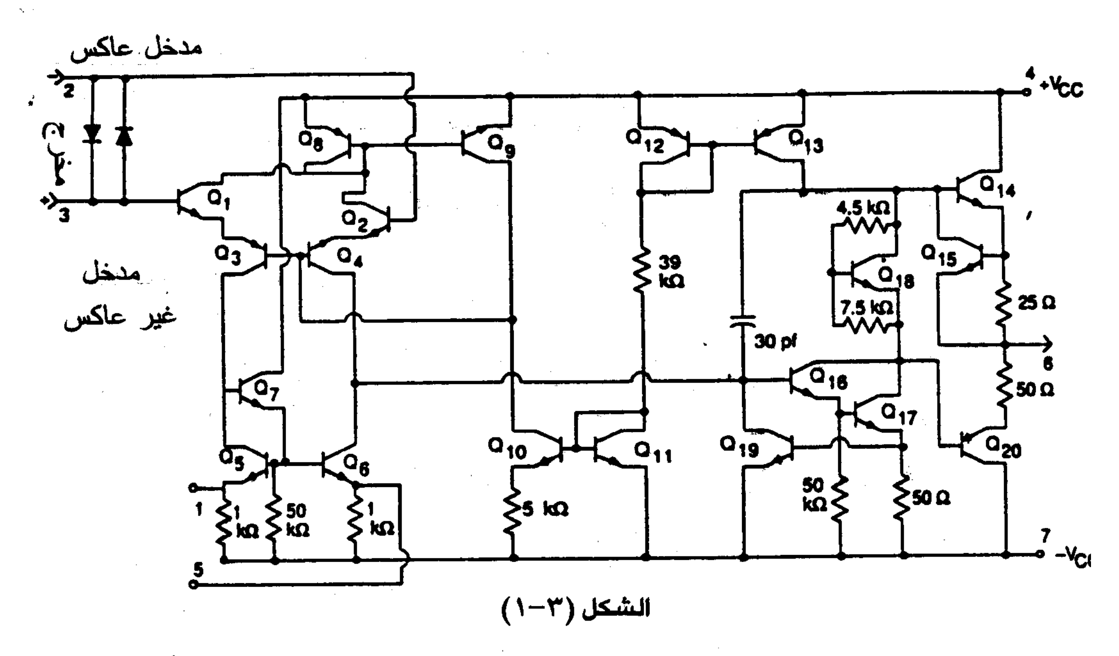
الموضوع الثانى: مصادر التيار المستمر المنتظمة.

الموضوع الثالث: أنظمة التحكم ذات الدائرة المفتوحة وكذلك أنظمة التحكم ذات الدائرة المغلقة والعناصر المكونة لكليهما.

وسوف نتناول هذه المواضيع بشىء من الإيجاز فى هذا الباب.

٣ / ٢ - مكبر العمليات 741 :

والشكل (٣-١) يعرض الدائرة الالكترونية لمكبر العمليات 741 .



الشكل (٣-١)

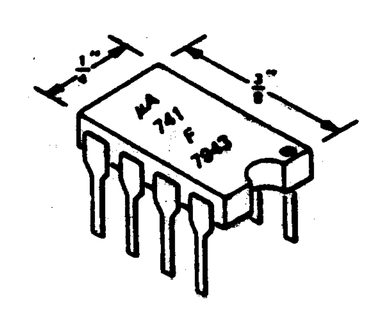
ولحسن الحظ أنه يمكن استخدام مكبر العمليات بدون الدخول فى تفاصيل عن تركيبه الداخلى لصعوبة ذلك. لذلك سوف نتعامل مع الأطراف الخارجية لمكبرات العمليات، ويلاحظ من رمز مكبر العمليات أن مكبر العمليات له مدخلان، أحدهما عاكس (–) والآخر غير عاكس (+) ومخرج Output . والجدير بالذكر أن هناك أطرافًا أخرى لمكبر العمليات لا تظهر فى الرمز فى أغلب الأحيان. وسوف نتعرض لباقى هذه الأطراف فيما بعد.

والشكل (٣-٢) يعرض نموذجًا لمكبر عمليات 741 من نوع DIL (أى له أرجل فى صفين وكذلك مسقط أفقى يبين جميع المداخل والمخارج ووظيفة كل منها.

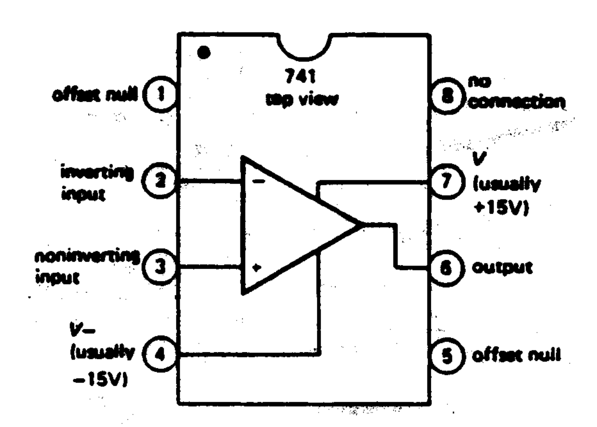
ويلاحظ وجود تجويف نصف دائرى على أحد جانبى الدائرة المتكاملة، وحتى يمكن معرفة أرقام أرجل الدائرة المتكاملة تمسك الدائرة المتكاملة باليد بحيث يكون التجويف فى اليسار فتكون الرجل اليسرى هى الرجل رقم 1، ويكون العد فى عكس اتجاه عقارب الساعة.

التعريف بوظيفة أرجل الدائرة المتكاملة:

الرجل 1 : ضبط الخرج عند الصفر.

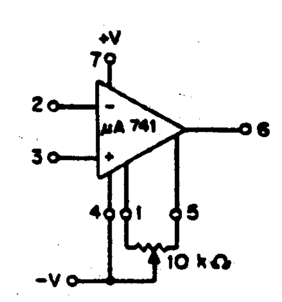


2 : المدخل العاكس.
3 : المدخل الغير عاكس.
4 : منبع الجهد السالب ويساوى 15V - .
5 : ضبط الخرج عند الصفر .
6 : الخرج يؤخذ منه الإشارة المكبرة.
7 : منبع الموجب ويساوى 15V + .
8 : غير مستخدم .



الشكل (٣-٢)

ويستخدم الطرفان 5,1 لضبط الخرج عند الصفر، حيث يوصل بينهما مجزئ جهد، ويوصل الطرف المنزلق للمجزئ بالطرف السالب للمنبع.



الشكل (٣-٣)

وعندما ترتفع درجة حرارة المكبر يتواجد خرج للمكبر حتى ولو لم يكن هناك دخل على الطرفين، وفى هذه الحالة يمكن بواسطة مجزئ الجهد الوصول لخرج مساو للصفر. والشكل (٣-٣) يوضح طريقة ضبط الخرج عند الصفر.

وفيما يلى أهم المصطلحات الفنية المستخدمة مع مكبرات العمليات:

١ – جهد الدخل المعادل Input Offset Voltage (V_{IO}) :

وهو الجهد الواجب تطبيقه بين المدخلين لنحصل على جهد خرج صفرى ويساوى 1mV لمكبر العمليات μA741 .

٢ - تيـار الدخل المعـادل (I_{OS}) Input Offset Current : وهو الفـرق بين تيـارات المدخلين عندمـا يكون الخـرج فى حـالة جـهـد صـغـرى ويسـاوى 20nA لمكبـر العمليات 741.

٣ - تيـار الدخل الانحيـازى (I_{IO}) Input Bias Current : وهو مـتـوسط تيـارات المدخلين عندما يكون الخرج فى حالة جهد صفرى.

٤ - جهد الدخل التفاضلى (V_{ID}) Differential Input Voltage : وهو فرق الجهد الأقصى بين المدخلين العاكس والغير عاكس.

٥ - كسب الجهد للدائرة المفتوحة (A_V) Open Loop gain : وهو النسبة بين جهد الخرج وجهد الدخل عندما تكون مقاومة الحمل 2kΩ.

٦ - مقاومة الدخل (R_I) Input Resistance : وهى المقـاومـة بين كل من المدخلين والأرض.

٧ - مقاومة الخرج Output Resistance : وهى المقاومة بين كل من الخرج والأرض.

٨ - معدل الميلان (SR) Slew Rate : ويساوى النسبة بين التغير فى جهد الخرج إلى زمن هذا التغير عندما تكون مقاومة الحمل R_L مساوية 2KΩ .

$$S_R = \frac{\Delta V_O}{\Delta t} \quad \rightarrow 3.1$$

وهو يساوى 0.5 V/µS لمكبرات العمليات µA741 .

٩ - النطاق العـرضى للتـرددات (BW) Band Width : وهو حـدود التـرددات التى يعمل عندها المكبر باستقرار.

١٠ - حاصل ضرب النطاق العرضى فى الكسب (GBW) : ونحصل عليه من المعادلة التالية:

$$GBW = A_v \times Bw$$

وهو يساوى $1MH_Z$ لمكبر العمليات µA741 .

والجدول (٣-١) يعقد مقارنة بين الخواص الفنية لبعض مكبرات العمليات .

الجدول (٣-١)

المتغير	709	201	301	741
تيار الدخل الانحيازى (I_{IO}) (nA)	1500	1500	250	500
جهد الدخل المعادل (V_{IO}) mV	7.5	7.5	7.5	6
تيار الدخل الانحيازى (I_{OS}) nA	500	200	50	200
حاصل ضرب الكسب فى النطاق الترددى (MHZ) GBW	1	1	1	1
معامل الإمالة S_W (V/µS)	3	2	2	0. 5
مقاومة الدخل R_I (MΩ)	0.7	4.0	2.0	2.0

٣ / ٣ - الدوائر الأساسية لمكبرات العمليات :

حيث إن معامل تكبير الدائرة المفتوحة لمكبرات العمليات تكون كبيرة وتصل إلى200 000 لذا فإن مكبرات العمليات عادة لا تستخدم فى دوائر مفتوحة ولكن تستخدم فى دوائر مغلقة، ولكى يكون المكبر فى حالة استقرار فإن هذا الغلق يتم بواسطة تغذية خلفية سالبة ؛ لذلك يتم توصيل مقاومة بين الخرج والدخل السالب .
وتوجد عدة تطبيقات لمكبرات العمليات ستنتاولها فى الفقرات التالية :

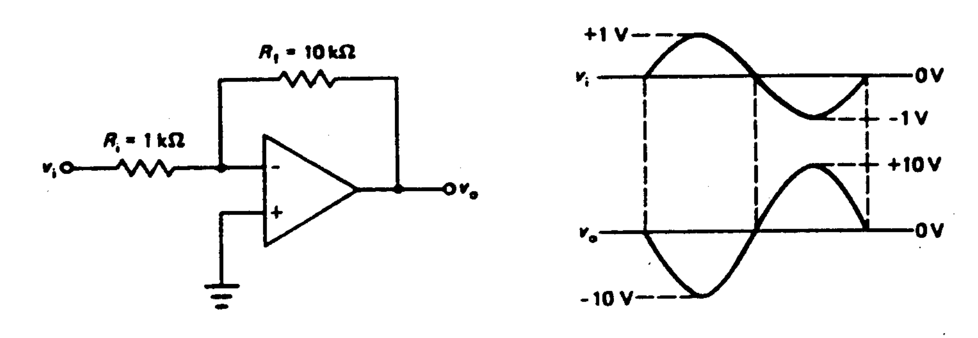
٣ / ٣ / ١ - المكبر العاكس **Inverting Amplifier** :

الشكل (٣-٤) يعرض دائرة مكبر عمليات يعمل كمكبر عاكس . وتسمى المقاومة R_F بمقاومة التغذية الخلفية، أما المقاومة R_1 فهى مقاومة توالى توصل بين الطرف السالب (–) للمكبر وإشارة الدخل المطلوب تكبيرها، ويكون معامل كسب الجهد (معامل التكبير) A_V مساوياً :

الشكل (٣-٤)

$$A_V = \frac{V_O}{V_i} = \frac{-R_F}{R_1} \rightarrow 3.2$$

ولمزيد من الإيضاح إليك المثال الموضح بالشكل (٣-٥)



الشكل (٣-٥)

فإذا كانت إشارة الدخل V_i عبارة عن موجة جيبية قيمتها العظمى 1V+ فإن إشارة الخرج V_O ستكون موجة جيبية أيضًا بإزاحة 180° وقيمتها العظمى 10V، حيث إن معامل كسب الدائرة يساوى :

$$A_V = \frac{-R_F}{R_1} = \frac{-10}{1} = -10$$

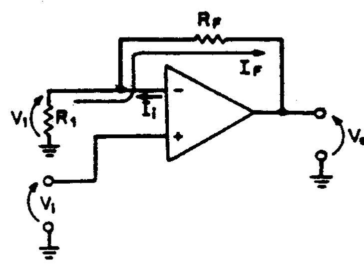
ويجب ملاحظة أن جهد الخرج فى هذه الحالة لن يتعدى جهد منبع التغذية وهو 15V ±، مهما كانت قيمة جهد الدخل وقيمة معامل الكسب؛ لأن المكبر سوف يكون فى حالة تشبع ومن الناحية العملية فإن الطرف الموجب للمكبر لا يوصل مباشرة بالأرض بل يوصل من خلال مقاومة R_P تساوى:

$$R_P = \frac{R_1 R_F}{R_1 + R_F} \rightarrow 3.3$$

وهذه المقاومة تعمل على ضبط أى حيود للخرج عن الصفر فى حالة ما إذا كان الدخل على طرفى المكبر مساويًا صفرًا.

٣/٣/٢ - المكبر الغير عاكس Non Inverting Amplifier :

الشكل (٣-٦) يعرض دائرة مكبر العمليات الذى يعمل كمكبر غير عاكس.



الشكل (٣-٦)

ويلاحظ أن إشـــارة الدخل يســـمح لهـــا بالدخول على المدخل الغير عاكس للمكبر +.

وفيما يلى معادلة كسب الجهد للمكبر الغير عاكس:

$$A_V = \frac{V_O}{V_i} = 1 + \frac{-R_F}{R_1} \rightarrow 3.4$$

فإذا كانت:

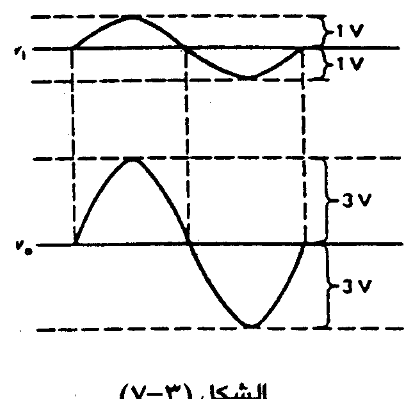
$$R_1 = 10\,K\Omega\ ,\ R_F = 20\,K\Omega$$

ودخلت موجة جيبية على المدخل العاكس وكانت القيمة العظمى لها $\pm 1V$ فإن القيمة العظمى لجهد الخرج V_O تساوى:

$$V_O = A_V = V_i = (1 + \frac{R_F}{R_1})\ V_i$$

$$= (1 + \frac{20}{10}) * \pm 1 = \pm 3V$$

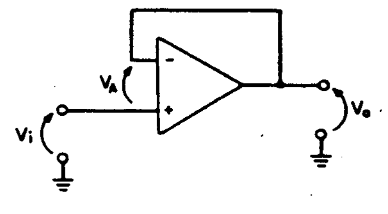
والشكل (٣-٧) يبين العـلاقـة بين V_i مع الزمن، وكـذلك V_O مع الزمـن، ويُلاحظ أنه لا توجد إزاحة وجهية بين V_i ، V_O.



الشكل (٣-٧)

٣/٣/٣ - مكبر الوحدة Unity Follower :

هذا المكبر يعطى جهد خرج V_O مساوٍ تقريبًا لجهد الدخل V_i فى القيمة، وله نفس القطبية؛ لذلك سمى بمكبر الوحدة. وهو يستخدم عادة فى العزل. والشكل (٣-٨) يعرض دائرة مكبر وحدة غير عاكس.



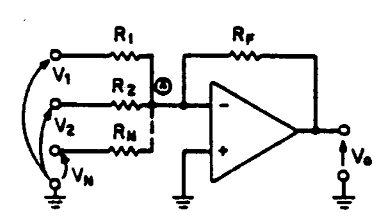
الشكل (٣-٨)

ويكون معامل الكسب مساويًا:

$$A_V = \frac{V_O}{V_i} = 1 \rightarrow 3.5$$

٤/٣/٣ - المكبر الجامع العاكس The Summing Op. Amp. :

يعتبر المكبر الجامع هو أحد تطبيقات المكبر العاكس، ويجرى المكبر الجامع عملية جمع لجهود الدخل. والشكل (٣-٩) يعرض دائرة جامع بثلاثة مداخل فقط. بالطبع يمكن زيادة عدد المداخل حسب الاستخدام لأى عدد من المداخل.



الشكل (٣-٩)

ونحصل على قيمة جهد الخرج لهذه الدائرة من العلاقة التالية:

$$V_O = -\left(\frac{R_F}{R_1} V_1 + \frac{R_F}{R_2} V_2 + \frac{R_F}{R_N} V_N\right) \rightarrow 3.6$$

فإذا كانت:

$$R_1 = R_2 = R_3 = R_F$$

تصبح:

$$V_O = -(V_1 + V_2 + V_3)$$

فإذا كانت:

$$R_1 = R_2 = R_3 = R_F = 10\ K\Omega$$

وكان جهود المداخل كالآتى:

$$V_1 = V_5\ ,\ V_2 = 6V\ ,\ V_3 = 8V$$

فإن جهد الخرج سيساوى:

$$V_O = -(5 + 6 + 8) = -19V$$

فإذا كان جهد المنبع مساويًا 15V ± فإن المكبر سوف يتشبع، وبالتالى يصبح جهد الخرج مساويًا جهد التشبع، أى Vsat - ، حيث إن جهد التشبع فى هذه الحالة يساوى 13V - تقريبًا.

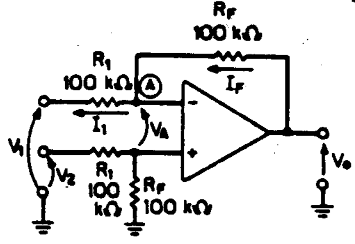
٣ / ٣ / ٥ - المكبر الفرقى The Differential Amplifier :

فى التطبيقات السابقة لاحظنا أن الإشارة الداخلة تدخل على أحد طرفى الدخل لمكبر العمليات، أما إذا سمح لإشارتي دخل الدخول معًا على مدخلى مكبر العمليات يسمى المكبر فى هذه الحالة بالمكبر الفرقى (الطارح)، وسمى بهذا الاسم نظرًا لأنه يقوم بتكبير الفرق بين الدخلين، وفى الوضع المثالى لهذه الدوائر فإن الخرج يساوى صفرًا عند تساوى جهد مدخلى الجهد، ودائرة مكبر العمليات الفرقى موضحة بالشكل (٣-١٠).

وتكون قيمته جهد الخرج لدائرة المكبر الفرقى مساويًا:

$$V_O = \frac{R_F}{R_1} (V_2 - V_1) \rightarrow 3.7$$

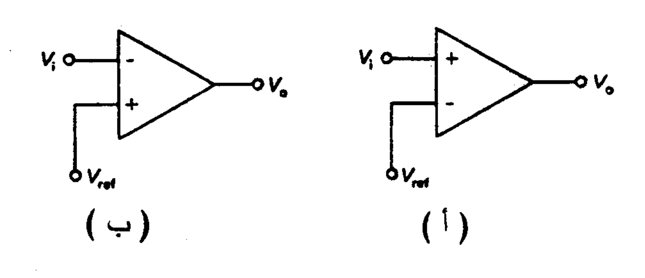
وتقوم المقاومة R_F بضبط أى صعود للخرج عن الصفر فى حالة تساوى الجهدين V_2 , V_1 أو مساواتهما بالصفر.



الشكل (٣-١٠)

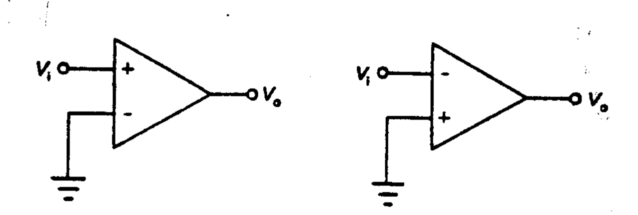
٣ / ٣ / ٦ - مقارن الجهد Voltage Com-parator :

يستخدم مكبر العمليات كمقارن للجهد بحيث يقارن الجهد على أحد المداخل مع جهد الأساس الموجود عند المدخل الآخر. وهناك نوعان من المقارنات مقارن عاكس وآخر غير عاكس. والشكل (٣-١١) يعرض مقارن جهد بسيط غير عاكس (أ) ومقارن عاكس (ب) ويسمى المقارن بمقارن عاكس عند دخول إشارة الجهد على المدخل العاكس فى حين يسمى بمقارن غير عاكس عند دخول إشارة الجهد على المدخل الغير عاكس.



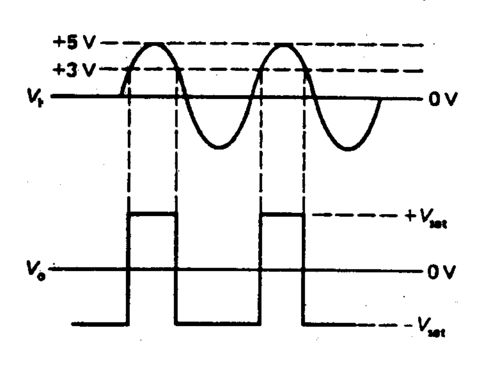
الشكل (٣-١١)

وحيث إن معامل الكسب (التكبير) لمكبر العمليات الذى يعمل فى دائرة مفتوحة كما هو الحال فى المقارن كبير جداً؛ لذا فإن جهد إشارة بالمللى ڤولت يكفى لتشبع المكبر وخرج مقارن الجهد دائماً جهد التشبع موجباً أو سالباً Vsat ± . وفى حالة قيام المقارن بمقارنة إشارة جهد مع 0V فإنه يسمى بكاشف عبور الصفر Zero Crossing Detector كما بالشكل (٣-١٢).



الشكل (٣-١٢)

حيث تتغير حالة خرج المقارن عند عبور جهد الدخل بالصفر. فإذا افترضنا أن مقارن للجهد غير عاكس يقارن موجه جيبية جهدها الأقصى 5V بجهد أساس مستمر يساوى +3V فإن شكل موجة الدخل وموجة الخرج المتوقع كما بالشكل (٣-١٣).



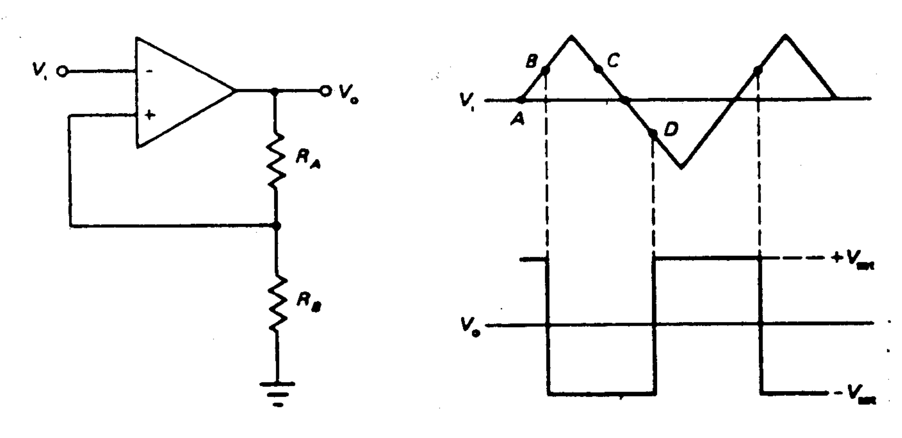
الشكل (٣-١٣)

ويلاحظ أنه عندما يكون جهد الدخل أكبر من 3V فإن خرج المقارن

يكون مساويًا Vsat + ، وعندما يكون جهد الدخل أصغر من 3V فإن خرج المقارن يكون مساويًا Vsat - . علمًا بأن Vsat تساوى 13V تقريبًا عندما يكون جهد المنبع مساويًا 15V .

والجدير بالذكر أن المقارن قد يتعرض لتأرجح فى خرجه نتيجة لوجود أى جهود صغيرة بفعل الضوضاء فى المداخل، ويجب تجنب ذلك بإضافة مقاومة تغذية عكسية موجبة (للدخل الموجب).

وهناك نوع آخر من المقارنات تسمى بمقارنات برجوعية، وتستخدم المقارنات ذات الرجوعية فى الحاكم ذى الموضعين Two Position Conroller . والشكل (٣-١٤) يعرض دائرة لمقارن برجوعية وشكل الموجة الخارجة V_O عندما تكون الموجة الداخلة V_i على شكل أسنان منشار. والمقصود بالرجوعية هو اعتماد خرج الدائرة على الحالة السابقة.



الشكل (٣-١٤)

فكما هو واضح أن خرج المقارن يكون مشبعًا موجبًا فى المنطقة بين النقطتين A,B تمامًا كالحالة السابقة للمقارن، فى حين يتحول خرج المقارن ليصبح مشبعًا سالبًا بعد النقطة B ، ويظل الخرج مشبعًا سالبًا فى المنطقة ED اعتمادًا على الحالة السابقة وهكذا.

ويمكن تعيين حدود الرجوعية من المعادلة التالية:

$$V_{ref} = \frac{R_B}{R_A + R_B} (\pm V_{sat}) \rightarrow 3.8$$

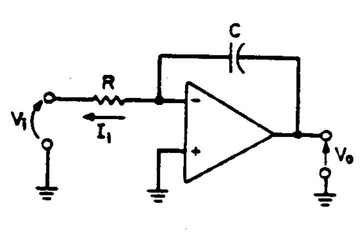
حيث إن

V_{ref} هو جهد الأساس وهو جهد النقطة B أو النقطة D .

V_{sat} هو جهد التشبع لمكبر العمليات .

٣ / ٣ / ٧ - المكبر المكامل Integrator :

تعرف عملية التكامل بأنها جمع قيم إشارة الدخل خلال فترة زمنية معينة . والشكل (٣-١٥) يعرض دائرة لمكامل وهى تشبه دائرة المكبر العاكس عدا أن مقاومة التغذية الخلفية R_F استبدلت بالمكثف C . والمعادلة التالية تعرف العملية التى تجريها هذه الدائرة :



الشكل (٣-١٥)

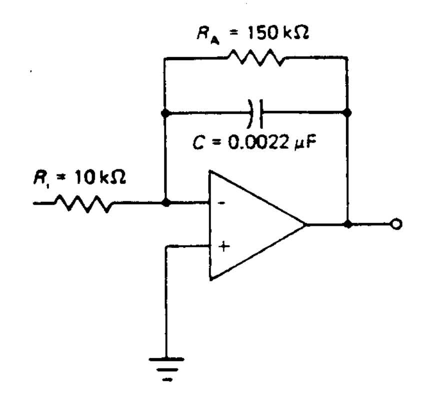
$$V_O = \frac{-1}{RC} \int_o^t V_i \, d_t \rightarrow 3.9$$

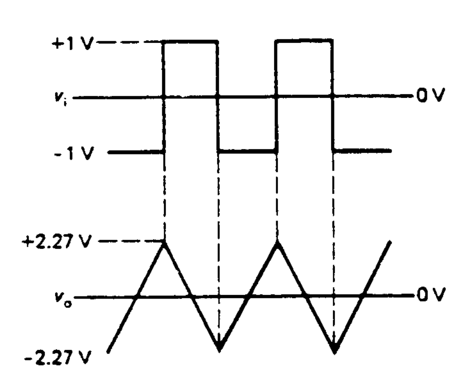
وعادة توصل مقاومة بالتوازى مع مكثف دائرة المكامل للأسباب التالية :

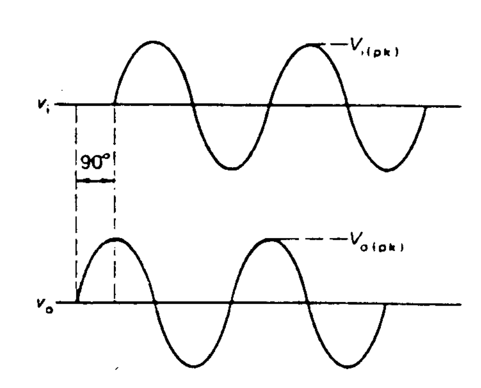
١ - منع المكبر من تكامل الجهود المستمرة حتى ولو صغيرة والتى قد تؤدى لفقدان الدائرة لصفة التكامل .

٢ - تحافظ على معامل كسب لا يقل عن $\frac{R_A}{R}$ عند الترددات القليلة، حيث إن R_A هى قيمة المقاومة الموصلة بالمكثف على التوازى، أما R هى مقاومة الدخل .

والشكل (٣-١٦) يبين مكامل عملى وشكل الموجة الداخلة والخارجة فى حالتين عندما تكون الموجة الداخلة مربعة وعندما تكون الموجة الداخلة جيبية .







الشكل (٣-١٦)

ويلاحظ أن الموجة المربعة عند تكاملها تتحول لموجة مثلثة، أما الموجة الجيبية عند تكاملها تكون جيبية ولكن بإزاحة 90° جهة اليسار.

علماً بأن جهد الخرج الأقصى للمكامل عندما يكون دخله موجة جيبية يساوى:

$$V_O\,(P_K) = \frac{V_i\,(P_K)}{2\,\pi\, F\, RC} \quad \rightarrow \; 3.10$$

حيث إن:

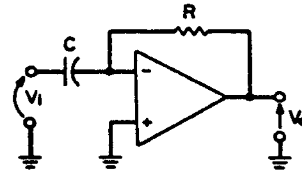
$V_O\,(P_K)$ جهد الخرج الأقصى.

$V_i\,(P_K)$ جهد الدخل الأقصى.

F تردد الموجة الجيبية الداخلة.

٣ / ٣ / ٨ - المكبر المفاضل The Differentiator :

الشكل (٣-١٧) يعرض دائرة مفاضل للموجة الداخلة، وهى تشبه دائرة المكامل مع تبديل أوضاع المكيف.



الشكل (٣-١٧)

والمعادلة التالية تعرف العملية التى تجريها هذه الدائرة:

$$V_O = -RC \frac{d_{vi}}{d_t} \rightarrow 3.11$$

وعادة توصل مقاومة R_S على التوالى مع المكثف C للمحافظة على الكسب فى الترددات العالية مساويًا $\frac{-R}{R_S}$ والشكل (٣-١٨) يبين دائرة مفاضل عملية وشكل الموجة الداخلة والخارجة فى حالتين عندما تكون الموجة الداخلة جيبية وعندما تكون الموجة الداخلة مربعة.

ويلاحظ أن الموجة الجيبية عند تفاضلها تكون جيبية، ولكن بإزاحة 90° جهة اليمين. علمًا بأن جهد الخرج الأقصى للمفاضل عندما يكون دخله موجة جيبية يساوى:

$$V_O (P_K) = 2 \pi F RC Vi (PK) \rightarrow 3.12$$

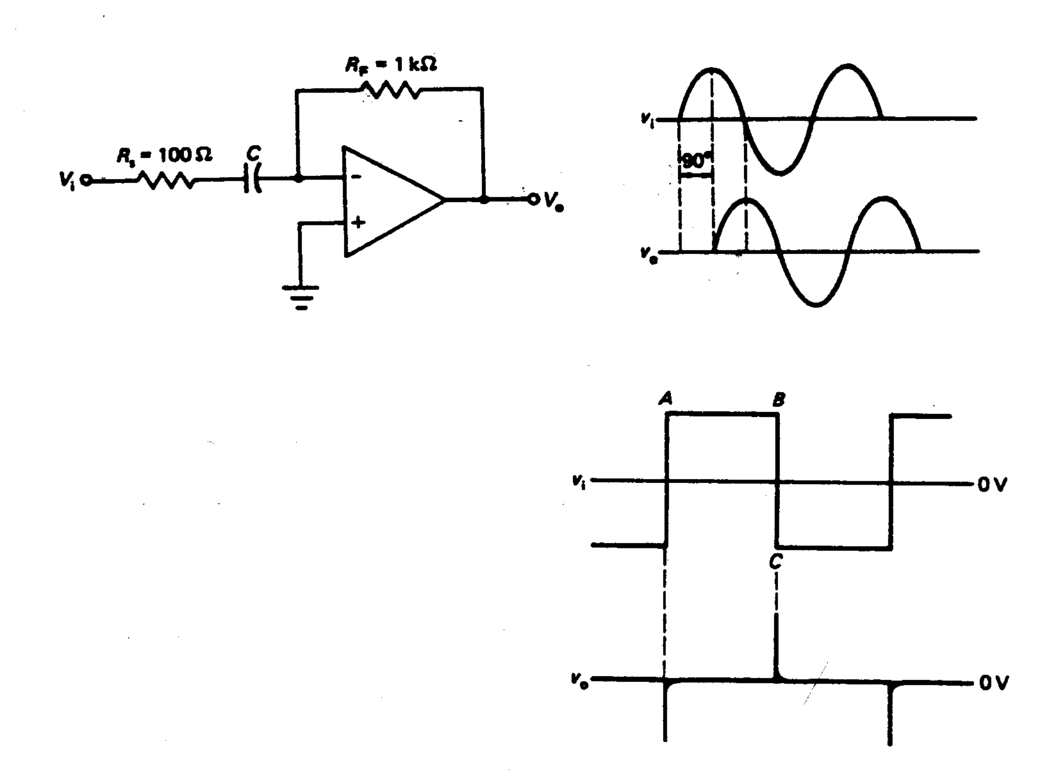
حيث إن:

$V_O (P_K)$ جهد الخرج الأقصى.

$V_i (P_K)$ جهد الدخل الأقصى.

F تردد الموجة الجيبية الداخلة.

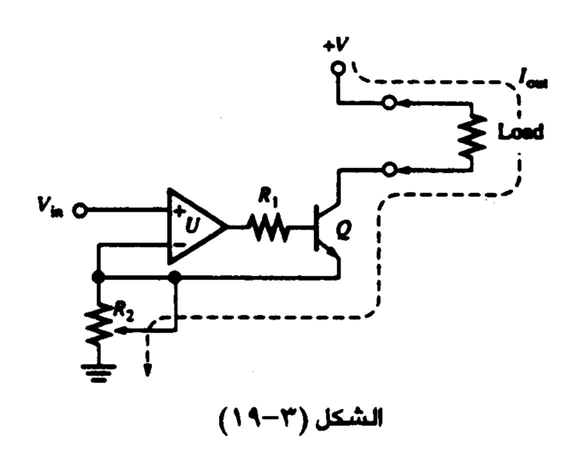
فى حين أن الموجة المربعة عند تفاضلها تتحول لنبضات موجبة ونبضات سالبة.



الشكل (٣-١٨)

٣ / ٣ / ٩ - محول الجهد لتيار :

من المعلوم أن مكبرات العمليات هى مكبرات جهد وأكثر هذه المكبرات يكون لها خرج تيار محدد. وحيث إن هناك الكثير من عناصر الفعل Actuators يتم التحكم فيها بالتحكم فى شدة التيار دخلها، على سبيل المثال الصمامات ذات المحرك Motor Valves الأمر الذى جعلنا نحتاج لطريقة لتحويل الجهد لتيار. والشكل (٣-١٩) يبين دائرة محول جهد لتيار باستخدام مكبر عمليات.



الشكل (٣-١٩)

وهذه الدائرة تعطى تيار خرج يتناسب مع جهد الدخل. وعند التدقيق فى هذه الدائرة نجد أنها دائرة مكبر عاكس، حيث يتحكم جهد الخرج فى الترانزستور Q ، فكلما زاد جهد الخرج ازداد تيار مجمع الترانزستور Q .

ويصل المكبر لحالة الاتزان عندما يكون الجهد الواقع على الرجل العاكسة يساوى جهد الدخل على الرجل الغير عاكسة أى عندما يكون :

$$V_{in} = I_{out} R_2$$

وبالتالى نحصل على قيمة تيار الخرج من المعادلة التالية :

$$I_{out} = \frac{V_{in}}{R_2} \rightarrow 3.13$$

ويمكن التحكم فى شدة تيار الخرج المقابل لجهد الدخل بالتحكم فى قيمة المقاومة R_2 ، ويجب اختيار R_1 بحيث تكون كافية لتحديد تيار قاعدة الترانزستور.

والجدير بالذكر أن الترانزستور Q يعمل على زيادة مستوى تيار خرج المكبر؛ ولذلك يختار بحيث يكون قادراً على حمل التيار المطلوب.

كما أنه يجب أن يكون الجهد +V كافياً لإمرار التيار المطلوب فى الحمل، فإذا

كانت مقاومة الحمل 50KΩ وكان التيار المطلوب 2mA فإن الجهد V+ يجب أن يكون أكبر من 100V .

٣ / ٤ - منظمات الجهد المتكاملة ذات الأطراف الثلاثة :

3 Terminal Regulators

تستخدم منظمات الجهد المتكاملة فى بناء مصادر التيار المستمر المنتظمة، وتنقسم إلى :

١ - منظمات لها خرج ثابت Fixed Voltage Regulators .

٢ - منظمات لها خرج قابل المعايرة Variable Voltage Regulators .

وسوف نركز فى هذا الباب على المنظمات ذات الخرج الثابت الثلاثية الأرجل. فهى تنقسم لعائلتين، وهما :

أ - منظمات الجهد الموجبة طراز .....78 .

ب - منظمات الجهد السالبة طراز .....79 .

علماً بأن هذه المنظمات تتواجد بقيم مختلفة لتيار وجهد الخرج، ويشار لقيم التيار والجهد بالامتداد .... فالتيار الأقصى يشار له بالجزء الأول من الامتداد، حيث إن :

L = 100mA   بدون = 1A , S = 2A

بينما الجهد المقنن يشار إليه بالجزئين التاليين من الامتداد، وأهم الجهود المقننة القياسية هى (5, 6, 9, 12, 15, 24V) .

على سبيل المثال 7805 هو منظم جهد ثلاثى ثابت الخرج، يعطى جهد خرج 5V+ وتيار أقصى 1A فى حين الدائرة المتكاملة 79L15 هى منظم جهد ثلاثى ثابت الخرج يعطى جهداً مقنناً 15V- وتيار أقصى 100mA وهكذا.

وعادة فإن جهد دخل المنظم نحصل عليه من المعادلة :

$$V_O + 3 \le V_i \le V_O + 6$$

حيث إن :

V_O جهد الخرج للمنظم .

V_i جهد الدخل للمنظم .

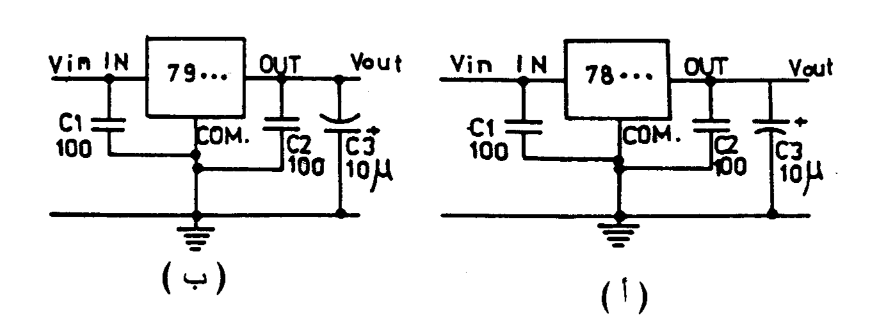
والجدول (٣-٢) يعرض خواص منظمات الجهد الثابتة .

الجدول (٣-٢)

الطراز	حدود الدخل	تنظيم الخط	تنظيم الحمل	معامل طرد الذبذبات
MC 7805-CT	7.2: 35V	7mV $7V \le V_i \le 25V$	40 mV $5mA \le I_O \le 1.5A$	68 dB $8 \le V_i \le 18V$
MC 7812-CT	14.5 V : 35V	13mV $14.5V \le V_i \le 30V$	46mV $5mA \le I_O \le 1.5A$	
MC7815-CT	17.6V : 35V	13mV $27V \le V_i \le 38V$	52mV $5mA \le I_O \le 1.5A$	56 dB $18.5V \le V_i \le 28.5V$
MC 7905-CT	- 7.2V : - 35V	35mV $-7V \ge V_i > -25$	11mV $5mA \le I_O \le 1.5A$	70dB $I_O = 20mA$
MC 7912-CT	- 14.5V : - 32V	55mV $-14.5V \ge V_i \ge -30V$	46mV $5mA \le I_O \le 1.5A$	61 dB $I_O = 20mA$
MC 7915-CT	-17.6V : - 35V	57mV $-17.5 \ge V_i \ge -30V$	68mV $5mA \le I_O \le 1.5A$	60 dB $I_O = 20 mA$

٣ / ٥ - دوائر مصادر القدرة ذات المنظمات الثلاثية :

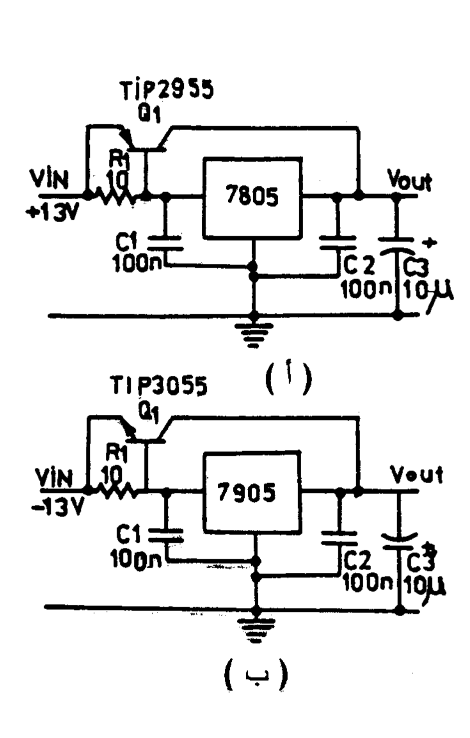
والشكل (٣ - ٢٠) يعرض دائرتين أساسيتين للمنظمات الثلاثية الأرجل الثابتة الجهد، الأولى (أ) صممت للحصول على جهد خرج موجب، والثانية (ب) صممت للحصول على جهد خرج سالب.



الشكل (٣ - ٢٠)

والشكل (٣ - ٢١) يعرض دائرتين مختلفتين لزيادة تيار المنظمات الثابتة الجهد الثلاثية الأرجل، فالشكل أ يعرض دائرة منظم يعطى تيار خرج 5A وجهد خرج موجباً. والشكل ب يعرض دائرة منظم يعطى تيار خرج 5A وجهد خرج سالباً.

وعادة يتم توصيل مكثفات على التوازى مع مداخل ومخارج المنظمات الثلاثية الأرجل لتجنب عدم الاتزان عند الترددات العالية. علماً بأن جهد الدخل الغير منظم يجب أن يكون فى الحدود الموصى

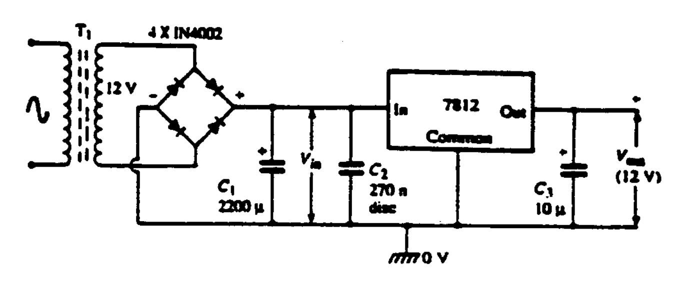


الشكل (٣ - ٢١)

بها من قبل الشركة والمبينة فى الجدول (٣ – ٢).

كما أنه يجب تثبيت هذه المنظمات على مشتتات حرارة Heat sinks بأحجام تعتمد على توصيات الشركات المصنعة.

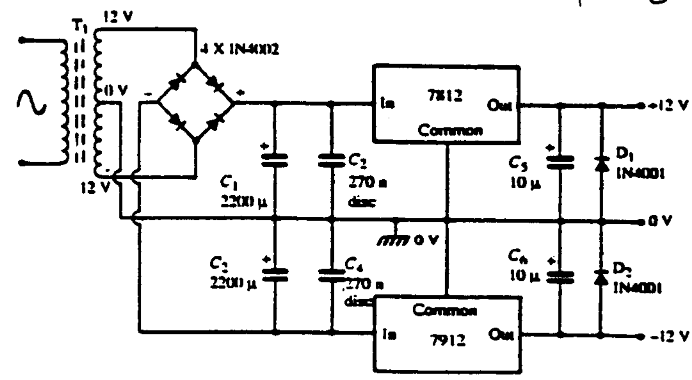
والشكل (٣ – ٢٢) يبين دائرة لمصدر تيار مستمر بخرج منظم وموجب، حيث يستخدم منظم ثلاثى الأرجل بخرج ثابت طراز 7812؛ لذلك فإن قيمة الجهد المنظم لهذه الدائرة +12V يساوى والحد الأقصى لتيار الحمل 1A.



الشكل (٣ – ٢٢)

أما الشكل (٣ –٢٣) فيبين دائرة مصدر تيار مستمر بخرج منظم ومزدوج، حيث يستخدم المنظم 7812 والمنظم 7912 وتعطى هذه الدائرة (+12V,0V,-12V) وتياراً أقصى 1A.

ويعمل الثنائى D_1 على حماية المنظم 7812 من التلف عند حدوث قصر على مخرجه، حيث يوقف تفريغ المكثف C_5 من المنظم وبالمثل يعمل الثنائى D_2 على حماية المنظم 7912 عند حدوث قصر عند مخرجه، حيث يعمل على إيقاف تفريغ المكثف C_6 فى المنظم.



الشكل (٣ – ٢٣)

والجدير بالذكر أن قيمة جهد خرج المنظمات الثابتة يعتمد على جهد الرجل المشتركة Common والتى عادة تكون مؤرضة، ولكن إذا ارتفع جهد الرجل المشتركة عن الصفر فإن جهد خرج المنظم سوف يزداد، ويمكن تحقيق ذلك باستخدام مقاومة توصل بين الرجل المشتركة والأرض، وحيث إنه يمر عادة تيار صغير بالملى أمبير من المنظمات الثابتة إلى الأرض خلال الرجل المشتركة لذلك فإن جهد الرجل المشتركة سوف يرتفع معتمداً على قيمة المقاومة، وتباعاً يرتفع جهد خرج المنظم.

٣ / ٦ - نظام التحكم ذو الحلقة المفتوحة Open Loop :

الشكل (٣ - ٢٤) يوضح العناصر الأساسية لنظام التحكم ذا الحلقة المفتوح.

$E_C = V_W$ → جهد المرجع → [Power unit / عنصر التحكم فى القدرة] → IN → [System / النظام] → Out → خرج النظام

الشكل (٣ - ٢٤)

ويتكون نظام التحكم ذى الحلقة المفتوحة من:

١ - النظام System.

٢ - أجهزة التحكم فى القدرة Power devices.

أولا : النظام:

يعرف النظام بأنه مجموعة من العناصر التى ترتبط ببعضها لتحويل إحدى صور الطاقة لصورة أخرى، مثل: المحرك الكهربى والمولد الكهربى والمصباح الكهربى وفرن التسخين. ولكل نظام مدخل واحد أو عدة مداخل، وكذلك مخرج واحد أو عدة مخارج.

ثانيا : أجهزة التحكم فى القدرة:

وتقوم هذه العناصر بالتحكم المباشر فى القدرة الكهربية الداخلة للنظام تبعاً للإشارة القادمة لها من الحاكم، والجدير بالذكر أن هذه الأجهزة يمكن بناؤها

باستخدام مجموعة من العناصر الالكترونية أو شراؤها كوحدة متكاملة، حيث تتواجد فى الأسواق على صورة موديولات Modules، ويمكن تقسيم هذه الأجهزة إلى :

١ – مفاتيح الكترونية Solid state Switches : وهى تنقسم إلى :

أ – مفاتيح تيار مستمر الكترونية لوصل وفصل مصدر التيار المستمر عن النظام، وهى تتواجد فى الأسواق فى صورة موديولات تسمى بموديولات بخرج DC .

ب – مفاتيح تيار متردد الكترونية لوصل وفصل مصدر التيار المتردد عن النظام، وهى تتواجد فى الأسواق فى صورة موديولات تسمى بموديولات بخرج AC .

٢ – أجهزة التحكم التناسبية فى القدرة

: Proportional power control devices

وهى تقوم بالتحكم فى القيمة الفعالة لجهد تشغيل النظام المتردد أو القيمة المتوسطة لجهد تشغيل النظام المستمر، وذلك بما يتناسب مع جهد إشارة دخلها، ويبنى عملها على التحكم فى زوايا إشعال الترياكات أو الثايرستورات الداخلة فى بنائها وسوف نتناول صوراً مختلفة لهذه الأجهزة فى كل من الباب الرابع والخامس والسادس .

وفى نظام التحكم ذى الحلقة المفتوحة يتحدد خرج جهاز التحكم فى القدرة والذى يطلق عليه أحياناً عنصر التحكم النهائى Final control element بقيمة جهد المرجع Set point، وهى إشارة جهد مستمرة تتراوح عادة ما بين (0 : +15V) يتم إدخالها على عنصر التحكم النهائى . وللحصول على خرج محدد للنظام يتم حساب قيمة جهد المرجع اللازمة .

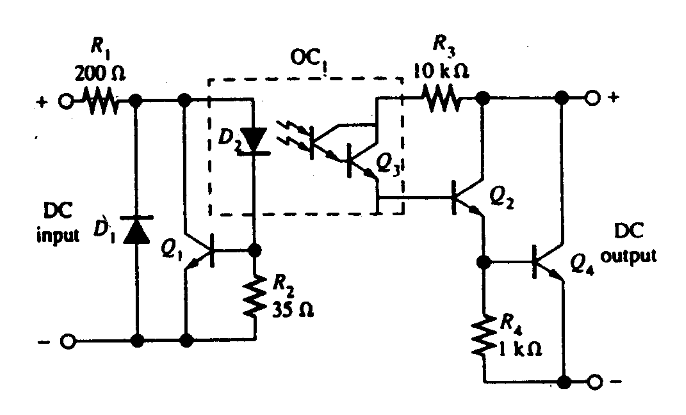
ويعاب على نظام التحكم ذى الحلقة المفتوحة عدم وجود مراقبة مستمرة لخرج النظام، فإذا تغير خرج النظام لأى سبب من الأسباب كتغير الحمل عليه فإن الدخل (إشارة جهد المرجع) سوف تظل ثابتة، الأمر الذى يؤدى لاختلال خرج النظام عن القيمة المطلوبة؛ لذلك يحتاج النظام فى هذه الحالة لإعادة ضبط جهد المرجع، ويتم

ذلك يدوياً؛ لذلك لا يستخدم نظام التحكم ذى الحلقة المفتوحة فى الأنظمة التى تحتاج لتحكم دقيق.

٣ / ٦ / ١ - المفاتيح الالكترونية Solid state swithes :

أولاً: مفاتيح التيار المستمر الالكترونية:

وتعمل مفاتيح التيار المستمر الالكترونية على وصل وفصل الجهود المستمرة عن النظام، ويتم التحكم فيها بإشارة جهد مستمر صغيرة (جهد المرجع). والشكل (٣ - ٢٥) يبين إحدى الدوائر الالكترونية لمفاتيح القدرة الالكترونية DC.

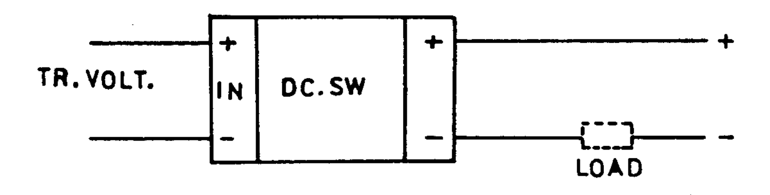


الشكل (٣ - ٢٥)

فعند وصول إشارة دخل +5V ينبعث شعاع ضوئى من D_2 فيتحول الترانزستور Q_3 لحالة الوصل فينتقل جهد مجمع Q_3 لقاعدة الترانزستور Q_2 ويتحول Q_2 لحالة التشبع، وتباعاً يتحول Q_4 لحالة التشبع، وبالتالى يمر التيار الكهربى فى الترانزستور Q_4 وصولاً للحمل ومن ثم يصبح كمفتاح مغلق، ويعمل الثنائى D_1 على حماية الدخل من انعكاس القطبية، أما الترانزستور Q_1 فيحمى دائرة الدخل من زيادة جهد الدخل عن الحدود المسموح بها، حيث يتحول لحالة الوصل عند زيادة التيار المار فى D_2 نتيجة لزيادة جهد الدخل والذى يؤدى لزيادة فرق الجهد على أطراف المقاومة R_2 والتى تمثل فرق الجهد بين قاعدة وباعث الترانزستور Q_1 وتقوم المقاومة R_1 فى هذه الحالة بتحديد التيار المار فى دائرة الدخل.

والشكل (٣ - ٢٦) يبين رمز موديل DC المتوفر فى الأسواق بدون الدخول فى

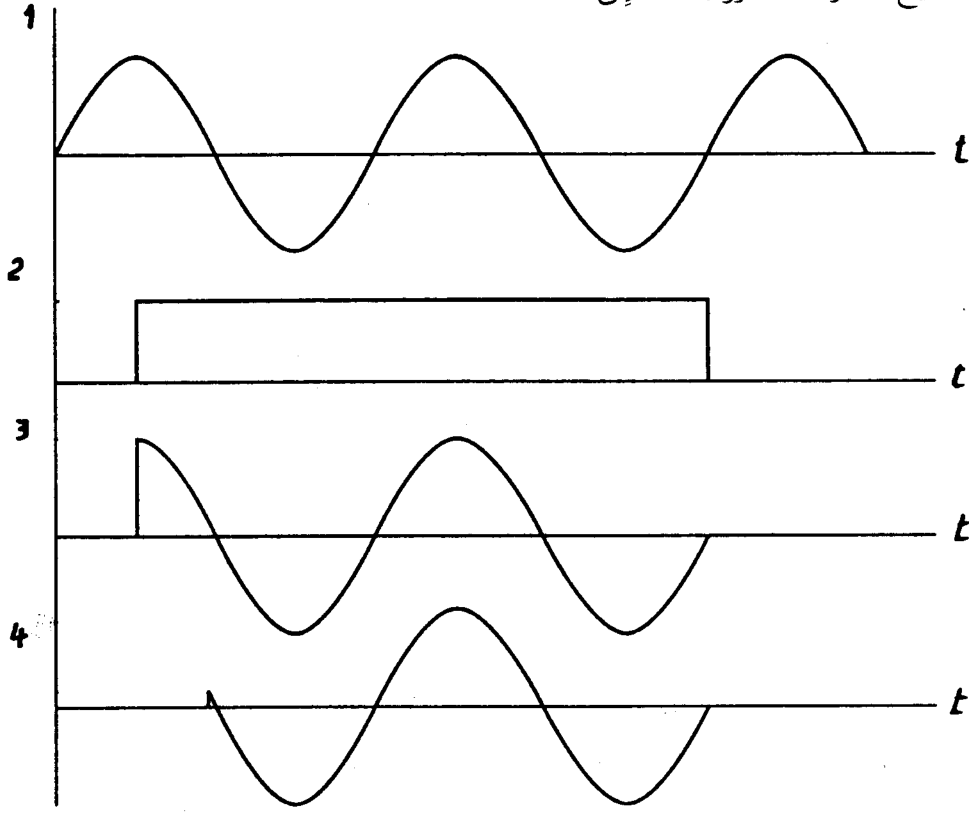
تفاصيل عن دائرته الداخلية.



الشكل (٣ - ٢٦)

ثانيا : مفاتيح التيار المتردد الالكترونية :

وتعمل مفاتيح التيار المتردد الالكترونية على وصل وفصل الجهود المترددة عن النظام، ويتم التحكم فيها بإشارة جهد مستمر صغيرة (جهد المرجع) . وتنقسم مفاتيح القدرة الالكترونية AC إلى :



الشكل (٣ - ٢٧)

١ – مفاتيح تيار متردد الكترونية، يتم إشعالها عشوائيا Random - trigger.

٢ – مفاتيح تيار متردد الكترونية يتم إشعالها لحظة العبور بالصفر Zero voltage trigger.

والفرق بين هذين النوعين يتضح من الشكل (٣ – ٢٧).

فالموجة 1 : لجهد المصدر الكهربى المتردد.

والموجة 2 : لجهد الإشعال (إشارة الدخل).

والموجة 3 : جهد الخرج عند الإشعال العشوائى.

والموجة 4 : جهد الخرج عند الإشعال لحظة العبور بالصفر.

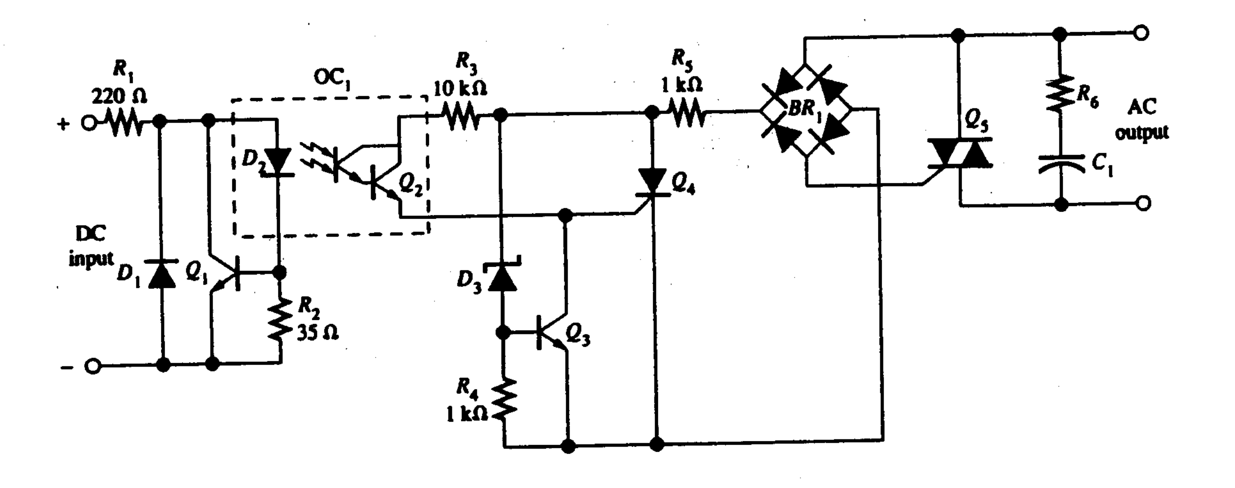
فالإشعال العشوائى يتم فى اللحظة التى تصل فيها إشارة التحكم بغض النظر عن زاوية الإشعال مما يسبب إمرار تيارات عالية، وكذلك تولد موجات راديو RFI تحدث تداخل مع الأجهزة الالكترونية القريبة، فى حين أن الإشعال لحظة العبور بالصفر خالٍ من هذه السلبيات.

والشكل (٣ – ٢٨) يبين الدائرة الالكترونية لمفتاح تيار متردد AC الكترونى يشتعل لحظة العبور بالصفر.

فعند وصول إشارة جهد مستمرة لأطراف الدخل يتشبع Q_2 فيشتعل الثايرستور Q_4 عند جهد قريب من الصفر، وتصبح Q_4, R_5 بمثابة حمل للقنطرة BR_1، وتباعا يمر تيار الإشعال فى بوابة الترياك Q_5، ويتحول الترياك لحالة الوصل.

والجدير بالذكر أنه عندما يكون الجهد اللحظى لمصدر التيار المتردد أكبر من 20V ينهار ثنائى الزينر D_3، وبالتالى يتحول الترانزستور Q_3 لحالة الوصل، ويحدث قصر بين بوابة ومهبط الثايرستور Q_4، فيمنع هذا الثايرستور من التحول لحالة الوصل، وبذلك نضمن أن الإشعال يتم عند زوايا قريبة جداً من الصفر فقط.

ويعمل الثنائى D_1 على حماية دائرة الدخل من انعكاس القطبية، ويعمل Q_1 على حماية دائرة الدخل من زيادة الجهد عن الحدود المسموح بها، وتعمل الدائرة المؤلفة من C_1 , R_6 كدائرة مصيدة Snubber لمنع إشعال الترياك نتيجة للتغير السريع فى

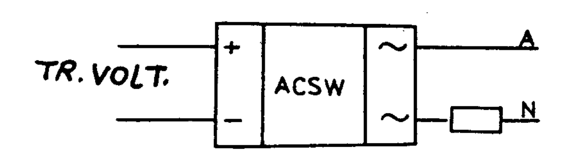

R1
220 Ω
+
-
DC
input
D1
Q1
OC1
D2
Q2
R2
35 Ω
R3
10 kΩ
D3
Q3
R4
1 kΩ
Q4
R5
1 kΩ
BR1
Q5
R6
C1
AC
output

الشكل (٣ - ٢٨)

جهد المصدر المتردد.

وبمجرد تحول الترياك Q_5 لحالة الوصل يصل التيار الكهربى للحمل.

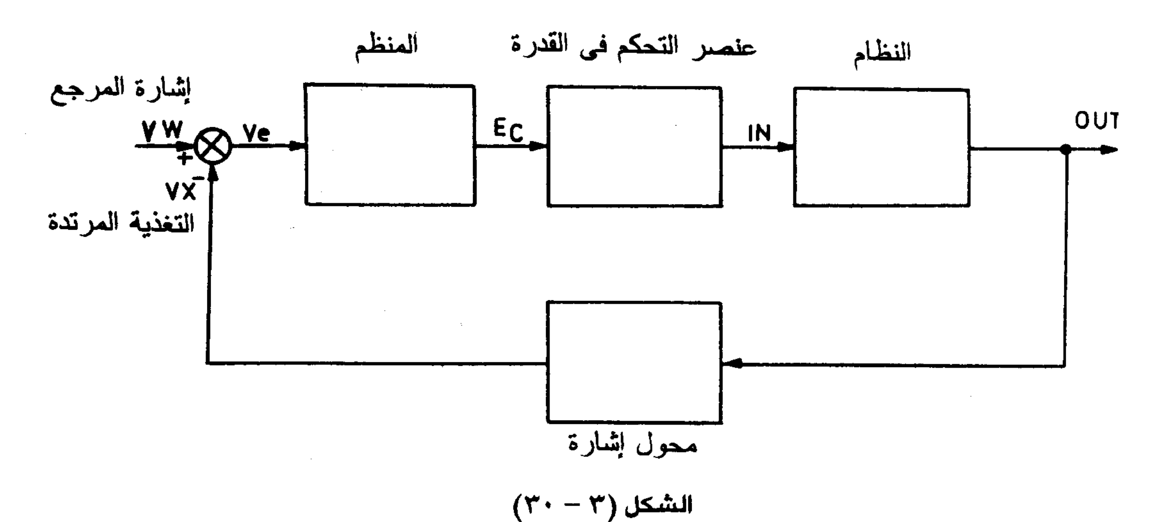
والشكل (٣ – ٢٩) يبين رمز موديول AC المتوفر فى الأسواق بدون الدخول فى تفاصيل عن دائرته الداخلية.



الشكل (٣ – ٢٩)

٣ / ٧ – نظام التحكم ذو الحلقة المغلقة Closed Loop :

الشكل (٣ – ٣٠) يبين المخطط الصندوقى لنظام تحكم ذى حلقة مغلقة.



الشكل (٣ – ٣٠)

ويتكون نظام التحكم ذو الحلقة المغلقة من:

١ – النظام System.

٢ – أجهزة التحكم فى القدرة Power Devices.

٣ – المقارن Comparator.

٤ – المنظم (الحاكم) Controller .

٥ – محول إشارة Transeducer .

وفى نظام التحكم ذو الحلقة المغلقة يتحدد خرج النظام بإشارة المرجع V_W . فعند تغير الحمل على النظام يتغير خرج النظام عن القيم المطلوبة والمناظر لجهد المرجع V_W ، وبالتالى تتغير إشارة الجهد المرتجعة المقابلة للخرج الفعلى للنظام والقادمة من محول الإشارة V_X ، وحيث إن جهد المرجع V_W ثابت لذلك فإن إشارة الخطأ (خرج المقارن)والتى نحصل عليها من المعادلة :

$$V_e = V_W - V_X \rightarrow 3.14$$

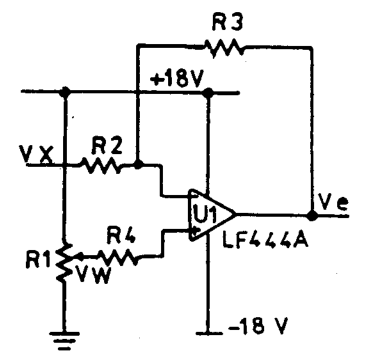
فسوف تتغير، ومن ثم يتغير خرج المنظم (الحاكم) وتباعاً يتغير خرج عنصر التحكم فى القدرة فيتغير دخل النظام، ومن ثم يتغير خرجه وصولاً للخرج المطلوب .

٣ / ٨ – المقارن Comparator :

ويقوم بإيجاد الفرق بين جهد المرجع V_W والذى يمثل الخرج المثالى المطلوب، وإشارة الجهد المرتجعة والمقابلة للخرج الفعلى للنظام والقادمة من محول الإشارة V_X للحصول على إشارة الخطأ (V_e) error signal والتى تساوى :

$$V_e = V_W - V_X \rightarrow 3.14$$

والشكل (٣ – ٣١) يبين دائرة الكترونية بسيطة لأحد المقارنات، فيكون دخل المدخل الغير عاكس + لمكبر العمليات U_1 هو الجهد القادم من محول الإشارة V_X ، وبالتالى فإن خرج مكبر العمليات U_1 يمثل إشارة الخطأ .



الشكل (٣ – ٣١)

٣ / ٩ – المنظم Controller :

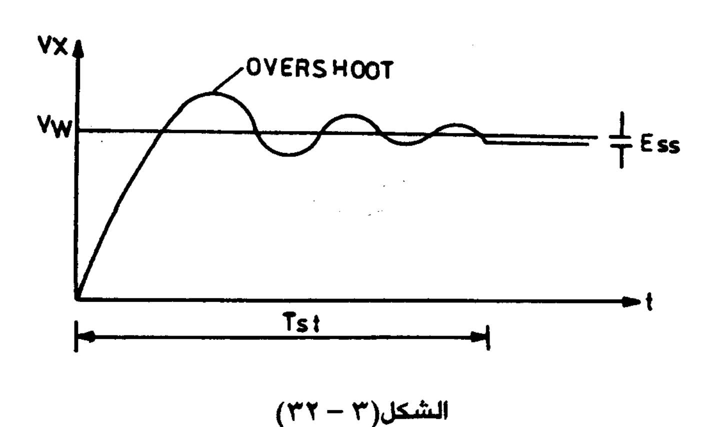
يمكن تلخيص الأهداف الأساسية للمنظمات فى أنظمة التحكم ذى الحلقة المغلقة فيما يلى :

١ – إقلال أقصى قيمة للخطأ Over shoot.

٢ – إقلال زمن الوصول لحالة الاستقرار بقدر الإمكان T_{st}، وهو الزمن المطلوب حتى تقل الاهتزازات فى الخرج بعد كل تغير فى الحمل.

٣ – الوصول بالخطأ النهائى E_{ss} إلى قيمة صغيرة جداً.

والشكل (٣ – ٣٢) يبين خرج نظام التحكم ذى الحلقة المغلقة عند إدخال قفزة جهد Step كإشارة مرجع.



الشكل(٣ – ٣٢)

وفيما يلى أنواع المنظمات الالكترونية المستخدمة فى أنظمة التحكم ذى الحلقة المغلقة:

١ – منظم الوصل والفصل ON - OFF Controller.

٢ – المنظم التناسبى P Controller.

٣ – المنظم التناسبى التكاملى PI Controller.

٤ – المنظم التناسبى التفاضلى التكاملى PID Controller.

٣ / ٩ / ١ / – منظم الوصل والفصل :

يطلق على هذا المنظم أحياناً بالمنظم ذى الموضعين Two - Position، ويقوم هذا المنظم بالتحكم فى النظام لجعل حالة خرجه إما وصل ON أو فصل OFF. وهناك نوعان من منظمات الوصل والفصل وهما:

١ – منظمات وصل وفصل مباشرة Direct acting controllers .

٢ – منظمات وصل وفصل غير مباشرة Indirect acting controllers .

أما منظمات الوصل والفصل المباشرة فتعمل على النحو التالى :

إذا كانت القيمة الفعلية للخرج أكبر من القيمة المطلوبة والمقابلة لجهد المرجع يصبح خرج المنظم فصل OFF .

أما إذا كانت القيمة الفعلية للخرج أصغر من القيمة المطلوبة والمقابلة لجهد المرجع يصبح خرج المنظم وصل ON .

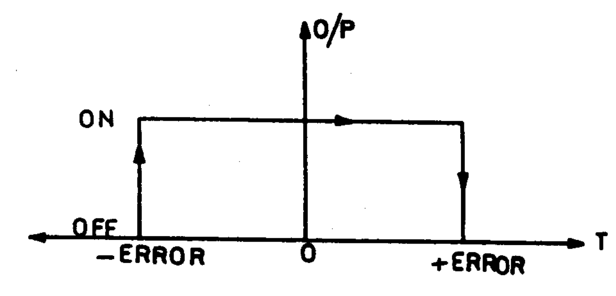
والعكس بالنسبة للمنظمات الغير مباشرة .

وعادة فإن منظمات الوصل والفصل العملية يكون لها خواص رجوعية Hys-tresis . ولتوضيح المقصود من خواص الرجوعية سنأخذ على سبيل المثال نظام تحكم فى درجة حرارة غرفة يستخدم منظم وصل وفصل مباشر برجوعية . لنفرض أن درجة الحرارة المطلوبة للغرفة هى 25^0C، فإذا أصبحت درجة حرارة الغرفة $+28^0C$ أى بخطأ مقداره $+3^0C$ يصبح خرج المنظم فصل OFF فيتوقف السخان، وعندما تصبح درجة حرارة الغرفة 22^0C أى بخطأ -3^0C يصبح خرج المنظم وصل ON أى يعمل السخان وهكذا، ويقال : إن لهذا المنظم منطقة سكون Dead band تساوى :

$$\text{Dead band} = + \text{Error} - (-\text{Error}) \rightarrow 3.15$$

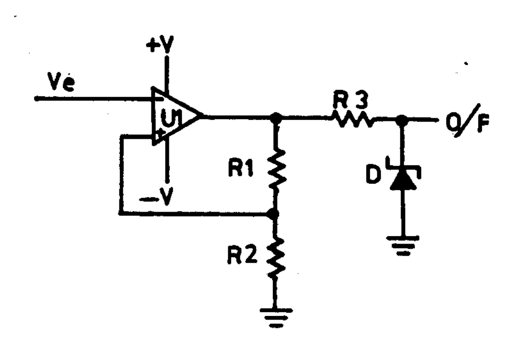
$$= + 3 - (-3) = 6^0C$$

والشكل (٣ – ٣٣) يبين الخواص الرجوعية لمنظم وصل وفصل مباشر لنظام تسخين .



الشكل (٣ – ٣٣)

والشكل (٣ -٣٤) يبين الدائرة الالكترونية لمنظم وصل وفصل مباشر برجوعية، حيث يتم مقارنة جهد الخطأ V_e والقادم من محول الإشارة مع جزء من جهد الخرج بواسطة مكبر العمليات U_1.



الشكل (٣ - ٣٤)

وحتى يصبح خرج مكبر العمليات U_1 مشبعاً سالباً فإن إشارة الخطأ V_e يجب أن تكون أكبر من الجهد على أطراف R_2، حيث إن فرق الجهد على أطراف R_2 موجب فى هذه اللحظة؛ وذلك لأن خرج U_1 كان مشبعاً موجباً $+V_{sat}$.

وبمجرد أن يصبح خرج U_1 مشبعاً سالباً $-V_{sat}$ فإن الجهد على أطراف R_2 يصبح سالباً مقارنة بالأرضى، وبالتالى حتى يصبح خرج U_1 مشبعاً موجباً $+V_{sat}$ يجب أن تكون إشارة الخطأ V_e أقل من فرق الجهد على أطراف R_2، وتصبح منطقة السكون Dead band مساوية الفرق فى الخطأ فى الحالتين السابقتين وتساوى:

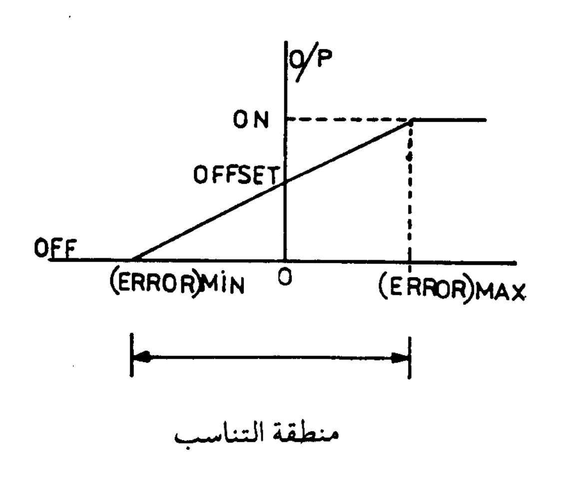
$$\text{Dead band} = 2V_{sat} \left(\frac{R_2}{R_1 + R_2} \right) \rightarrow 3.16$$

وعادة خرج منظمات الوصل والفصل لا يكون $-V_{sat}$ خصوصاً إذا كانت هذه المنظمات تقوم بتشغيل ملف ريلاى يعمل بالتيار المستمر؛ لذلك فإن خرجها يكون عادة $+V_{sat}$ أو 0V ولتحقيق ذلك يوصل ثنائى زينر D على خرج المنظم، فإذا اختير جهد ثنائى الزينر +5V فإنه عندما يكون خرج المنظم $+V_{sat}$ فإن ثنائى الزينر يجعل خرجه +5V، وعندما يكون خرج المنظم $-V_{sat}$ فإن ثنائى الزينر يجعل خرجه مساوياً -0.7V وتختار المقاومة R_3 بحيث تعمل على تحديد قيمة التيار عند الانحياز الأمامى، والعكسى لثنائى الزينر لقيمة مقبولة، وبذلك نحفظ مكبر العمليات U_1 من التلف.

٣ / ٩ / ٢ - المنظم التناسبى Proportional controller :

يتميز هذا المنظم بأن خرجه يتناسب طردياً مع إشارة الخطأ، وخواص هذا المنظم مبينة بالشكل (٣ - ٣٥).

وتعمل إشارة الخطأ الكبيرة على تشبع المنظم. وعادة فإن المنظمات التناسبية تعمل فى منطقة تعرف بمنطقة التناسب Proportional band، وهى تشبه لحد كبير منطقة السكون Dead band للمنظمات ذات الموضعين، ويمكن إيجاد جهد منطقة التناسب من المعادلة التالية:



الشكل (٣ - ٣٥)

$$\text{Proportional band} = (\text{Error})\ \text{max} - (\text{Error})\ \text{min} \rightarrow 3.17$$

ويمكن كتابة المعادلة السابقة بصورة أخرى كما يلى:

$$\text{Proportional band} = \frac{(V_{out})\ \text{max} - (V_{out})\ \text{min}}{A_V} \rightarrow 3.18$$

حيث إن:

(V_{out}) max أقصى جهد خرج للمنظم.

(V_{out}) min أقل جهد خرج للمنظم.

A_V معامل كسب المنظم.

(Error) max أقصى خطأ.

(Error) min أقل خطأ.

وهناك ثلاث كميات مهمة عند دراسة الحاكمات التناسبية وهى :

– أقصى خطأ Max Error يقود المنظم ليصبح خرجه أكبر ما يمكن.

– أقل خطأ Min Error يقود المنظم ليصبح خرجه أقل ما يمكن.

– خرج المنظم عندما يكون الخطأ مساوياً الصفر ويطلق عليه OFFSET.

ويمكن حساب أقل خطأ (Error) min وأقصى خطأ (Error) max من المعادلتين التاليتين :

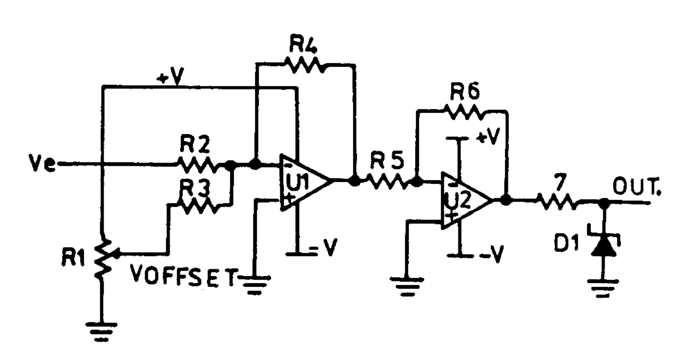
$$(\text{Error})\ \text{min} = \frac{(V_{out})\ \text{min}}{A_V} - V_{offset} \rightarrow 3.19$$

$$(\text{Error})\ \text{max} = \frac{(V_{out})\ \text{max}}{A_V} - V_{offset} \rightarrow 3.20$$

والشكل (٣ – ٣٦) يبين دائرة الكترونية لمنظم تناسبى فمكبر العمليات U_1 يعمل كجامع عاكس، حيث يجمع جهد V_{offset} إلى جهد الخطأ V_e.

فإذا كان :

$$R_2 = R_3$$



الشكل (٣ – ٣٦)

فإن خرج المكبر العمليات U_1 يساوى :

$$V01 = \frac{-R_4}{R_2} \quad (V_{offest} + V_e)$$

$$V01 = - A_V (V_{offest} + V_e)$$

ويعمل مكبر العمليات U_2 كعاكس لخرج المكبر فيصبح خرج المبكر U_1 مساوياً :

$$V02 = A_V (V_{offest} + V_e)$$

ويعمل الثنائى D_1 على تحديد خرج المنظم بجهد الزينر عندما يكون خرجه بالموجب، وتحديد خرج المنظم عند الانخفاض عن 0.7V- عندما يكون خرجه بالسالب .

ويعمل جهد Offset على استمرار وجود خرج للمنظم حتى عندما تصبح إشارة الخطأ V_e مساوية الصفر، وبالتالى يمنع تحول المنظم التناسبى لمنظم وصل وفصل ON - OFF Controller .

٣ / ٩ / ٣ - المنظم التكاملى Integral Controller :

يتميز هذا المنظم بأن خرجه يتناسب مع تكامل إشارة الخطأ وصولاً لخطأ يساوى الصفر، وهذا بالطبع غير ممكن فى المنظم التناسبى . والشكل (٣ - ٣٧) يبين الدائرة الالكترونية لمنظم تكاملى، فيعمل مكبر العمليات U_1 كمكامل . وعادة يعمل هذا المكامل فى المنطقة الخطية لشحن المكثف C، وبالتالى يجب منع المكثف C من الشحن الكامل . وعموماً فإن شحن المكثف جزئياً أو كاملاً يعتمد على ثلاثة أمور وهى :

الشكل (٣ - ٣٧)

- قيمة جهد الخطأ V_e.

- الزمن الذى تتواجد فيه إشارة الخطأ.

- قيمة كل من C و R_1.

وبمعرفة خواص النظام المتحكم فيه يمكن اختيار القيم المناسبة لكل من C و R_1، أما مكبر العمليات U_2 فله وظيفتان: الأولى تعمل كمكبر عاكس لخرج المكامل، والثانية تعمل على عزل خرج المكامل من الحمل، وبهذه الطريقة يكون U_1 قادراً على المحافظة على جهد المكثف، حيث إن المكثف لا يفرغ شحنته فى الحمل.

والجدول (٣ -٣) يعقد مقارنة بين المنظم التناسبى والمنظم التكاملي عند حدوث خطأ.

الجدول (٣ - ٣)

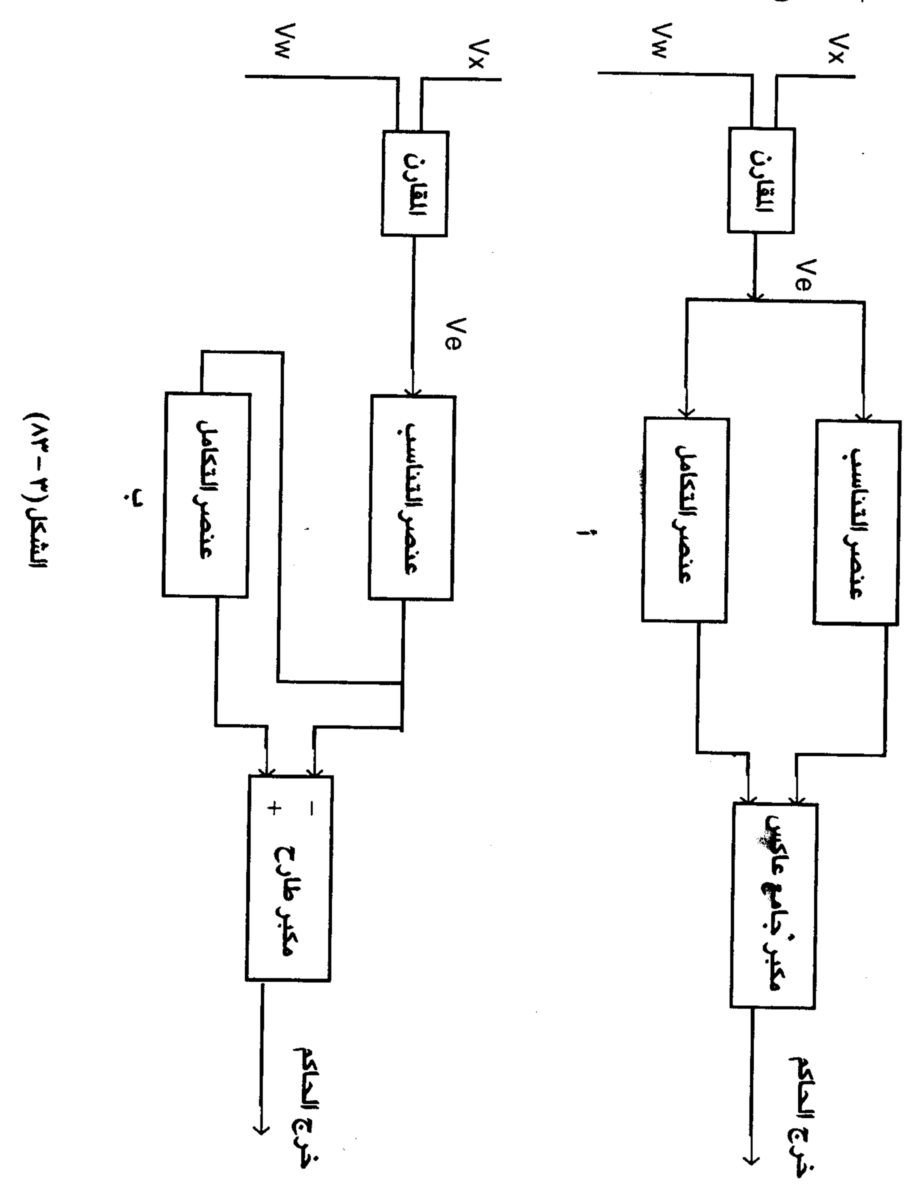
نوع المنظم	التصرف اللحظى	التصرف فى حالة التشغيل المستقر
تناسبى P	تكبير لحظى لإشارة دخله	يوجد خطأ ثابت ودائم، فكلما زاد معامل كسبه A_v قل هذا الخطأ وازداد الاهتزاز والعكس بالعكس.
تكاملى I	خرج بطئ يساوى التكامل الزمنى لإشارة دخله (جهد الخطأ V_e)	يصل جهد الخطأ Ve للصفر.

٣ / ٩ / ٤ - المنظم التناسبى التكاملى PI. Controller:

عادة لا يستخدم المنظم التكاملى بمفرده، ولكن يدمج مع أنواع أخرى من المنظمات، والسبب فى ذلك أن له خواصاً انتقالية فقيرة، فهو بطئ جداً؛ لذلك فهو يدمج عادة مع منظم له خواص انتقالية سريعة مثل الحاكم التناسبى؛ لذلك فالمنظم التناسبى التكاملى له خواص انتقالية سريعة وقادر على الوصول بالخطأ للصفر.

ويتم توصيل المنظم التناسبى والمنظم التكاملى بإحدى الطريقتين الموضحتين بالشكل (٣ - ٣٨) . فالمنظم PI المبين بالشكل أ يسمى بمنظم PI نوع التوازى، والمنظم PI المبين بالشكل ب يسمى بمنظم PI نوع التوالى .

والفرق بين الطريقتين هو : أن منظم PI نوع التوالى يكون أسرع استجابة من المنظم PI نوع التوازى .

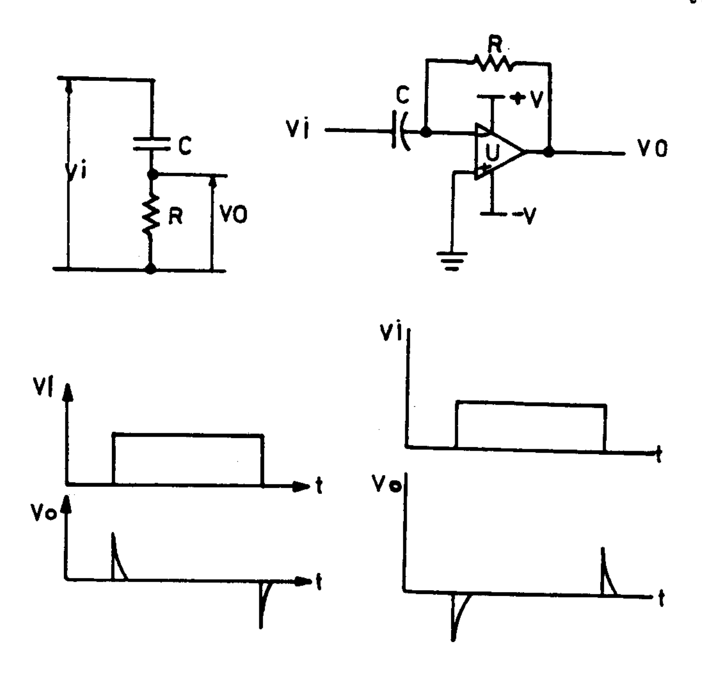


الشكل (٣ - ٣٨)

٣ / ٩ / ٥ - المنظم التفاضلي **Derivative Controller** :

بعض العمليات يلزمها خاصية الرجوعية أو القصور الذاتى. على سبيل المثال: تسخين الماء، فقد يمر زمن تأخير من بدء التسخين حتى ارتفاع درجة حرارة الماء الفعلية؛ لذلك نحتاج لتسخين عال في البداية، ثم خفض معدل التسخين بسرعة بعد وصول درجة حرارة الماء للدرجة المطلوبة، وهذا يلزم منظم تفاضلى. فالمنظم التفاضلى قادر على الوصول بالخطأ الفجائى للصفر بسرعة عالية، ويتغير خرج المنظم التفاضلى مع تغير إشارة الخطأ. والجدير بالذكر أن المنظم التفاضلى له خرج فقط عند حدوث تغير فى إشارة الخطأ، أما عند ثبات الخطأ فإن الخرج يصبح صفراً؛ ولذلك لا يمكن استخدام منظم تفاضلى بمفرده، ولكنه يستخدم مع منظم تناسبى أو منظم تناسبى تكاملى.

والشكل (٣ - ٣٩) يبين دائرتين مختلفتين لمفاضل باستخدام مكبر عمليات (الشكل أ)، وباستخدام مقاومة ومكثف (الشكل ب) بالإضافة إلى موجة دخل وخرج كليهما.

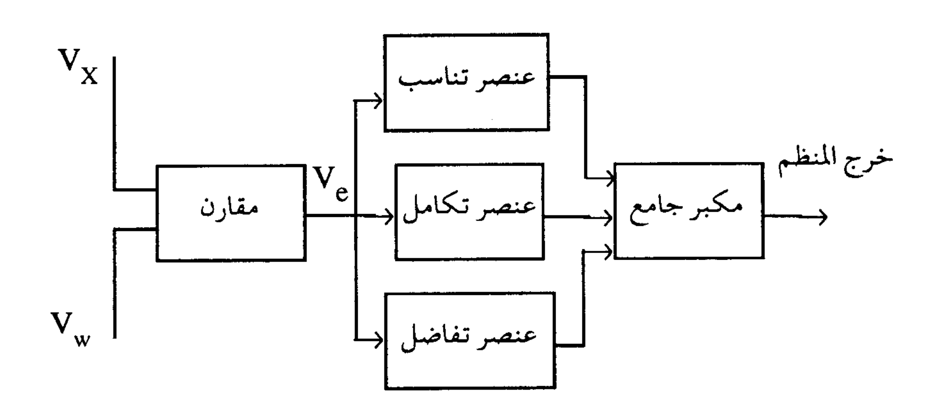


الشكل (٣ - ٣٩)

٣ / ٩ / ٦ - المنظم التناسبى التكاملى التفاضلى PID Controller :

كما هو واضح من الاسم فإن هذا المنظم يحتوى على عنصر تناسب للحصول على استجابة سريعة عند حدوث أى اضطراب بالنظام، وعنصر تفاضل للوصول بأى خطأ فجائى إلى قيمة آمنة، وعنصر تكامل يعمل على الوصول بالخطأ للصفر.

وبالرغم من وجود أشكال مختلفة للمنظم التناسبى التكاملى التفاضلى فإن الشكل (٣ - ٤٠) يبين أحد الأنواع المشهورة للمنظم التناسبى التكاملى التفاضلى.



الشكل (٣ - ٤٠)

وعملية ضبط كل عنصر من عناصر المنظم PID تسمى بعملية الموافقة **Tunning**، وهذه العملية ليست بالأمر اليسير، فهى تعتمد على طبيعة النظام المتحكم فيه.

وعادة تقوم الشركات المصنعة بإعطاء معلومات مفيدة عن هذا الموضوع. وأحياناً يعمل محاكاة للنظام بالكمبيوتر للحصول على نتائج سريعة لثوابت كل من عنصر التناسب وعنصر التكامل وعنصر التفاضل.

وهناك أمر هام يجب وضعه فى الاعتبار عند التعامل مع المنظمات PID وهو: طبيعة عمل عنصر التفاضل وعنصر التكامل. فيمكن لكليهما إلغاء عمل باقى العناصر.

على سبيل المثال: عند حدوث تغير سريع فى الخطأ فإن عنصر التفاضل سوف يتشبع مما يؤدى لتشبع المكبر الجامع، وهذا التغير المفاجئ يمكن أن يحدث نتيجة لاضطراب فى العملية الصناعية أو نتيجة لتغير إشارة المرجع، والنتيجة النهائية هو اهتزاز لخرج النظام.

مثال آخر: عند وجود خطأ كبير فى النظام لمدة زمنية طويلة فإن خرج المنظم التكاملى سوف يتشبع حتى ولو عاد الخطأ إلى الصفر والنتيجة حدوث Over shoot فى النظام إلى أن يصبح الخطأ بالسالب لإخراج عنصر التكامل من التشبع.

والجدير بالذكر أنه توجد طريقة عملية لإيجاد الثوابت K_P , K_I, K_D.

حيث إن:

K_P ثابت المنظم التناسبى ويساوى معامل كسبه.

K_I ثابت المنظم التكاملى ويساوى RC.

K_D ثابت المنظم التفاضلى ويساوى RC.

وذلك باستخدام قاعدة شن وهرونس وريسوك Chien, Hrones and Reswick.

وهذه القاعدة مشروحة مع تطبيق عملى فى الباب الرابع فى الدائرة رقم ١.

٣ / ١٠ - محولات الإشارة Transeducers:

وهذه الأجهزة تأخذ إشارة من خرج النظام وتحولها لإشارة كهربية إذا كان المنظم المستخدم منظما الكترونيا. على سبيل المثال: مولد التاكو يحول سرعة دوران محول كهربى لجهد يتناسب طردياً مع السرعة، فإذا كانت سرعة المحرك 1500RPM وكان خرج التاكو +5V مثلا، فإن هذا يعنى أن معامل التحويل لمولد التاكو هو

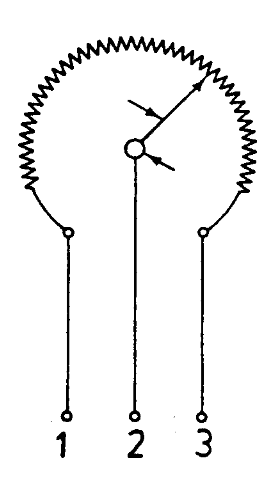
300RPM/V، وبالتالى عندما تصبح سرعة المحرك 1200RPM فإن خرج مولد التاكو يصبح $4V = \frac{1200}{300}$ وهكذا. وفى الفقرات التالية سنتناول بإيجاز الأنواع المختلفة لمحولات الإشارة.

٣/١٠/١ - محولات الحركة الزاوية

Angular - Displacement Transeducers:

يعتبر مجزئ الجهد الدوار من أهم محولات الحركة الزاوية لجهد. فعند دوران ذراع مجزئ الجهد فى اتجاه عقارب الساعة تزداد المقاومة بين النقطتين 2 ,1، وعند دوران ذراع المجزئ فى عكس اتجاه عقارب الساعة تقل المقاومة بين النقطتين 2 ,1، ويمكن تسليط جهد مستمر 10V+ مثلا على النقطتين 3 ,1 للحصول على خرج جهد من النقطة 2 يتناسب طردياً مع مقدار الحركة الزاوية.

وفيما يلى رمز مجزئ الجهد الدوار والذى يستخدم كمحول حركة زاوية لجهد.



٣/١٠/٢ - محولات الإزاحة الخطية

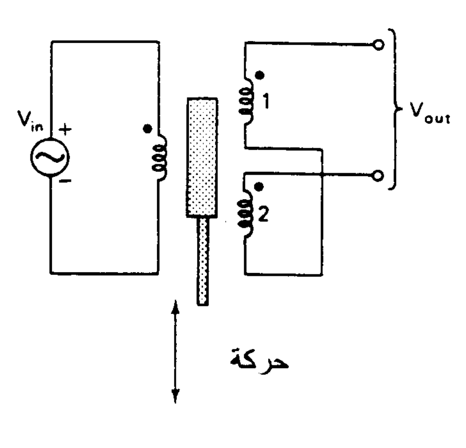
Linear - Displacement Transeducer:

من أشهر محولات الإزاحة الخطية محول الإزاحة التفاضلى المتغير LVDT ويتكون هذا المحول من ملف ابتدائى وملفين ثانويين وقلب مغناطيسى متحرك، ويتم تغذية الملف الابتدائى بجهد متردد 10V يتراوح تردده ما بين 50 H : I5KHZ، ويتم

توصيل الملفين الثانويين بالتوالى بحيث يكون خرج الملف الثانوى صفراً عندما يكون القلب المغناطيسى فى المنتصف، وعند إزاحة القلب المغناطيسى إلى أعلى أو أسفل يتولد فرق جهد على أطراف الملف الثانوى نتيجة للحث المتبادل بين الملفين الابتدائى والثانوى، وتزداد قيمة فرق الجهد على أطراف الملف الثانوى بزيادة الإزاحة.

والجدير بالذكر أن خرج الملف الثانوى يدخل على كاشف زاوية وجه إلكترونى Phase Detector لتحديد زاوية الوجه، فإذا كانت حركة القلب المغناطيسى للمحول لأسفل فإن خرج كاشف زاوية الوجه يكون سالباً وبقيمة تتناسب مع مقدار الإزاحة والعكس بالعكس.

والشكل (٣ – ٤١) يبين الدائرة الكهربية لمحول الإزاحة التفاضلى المتغير LVDT.



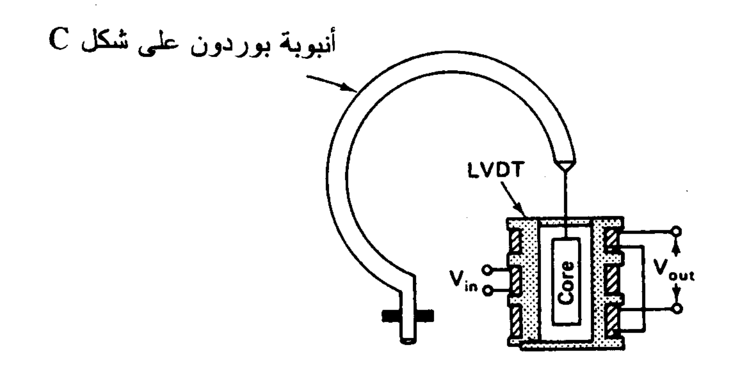
الشكل (٣ – ٤١)

٣ / ١٠ / ٣ – محولات الضغط Pressure Transeducer :

تعتبر أنبوبة بوردون Burdon tube والغشاء المطاطى Bellow من أشهر محولات الضغط، حيث تقوم هذه الأجهزة بتحويل الضغط لحركة ميكانيكية خطية أو دورانية، ثم باستخدام LVDT أو مجزئ جهد دوار يمكن تحويل الحركة الخطية أو الحركة الدورانية لجهد.

أنبوبة بوردون :

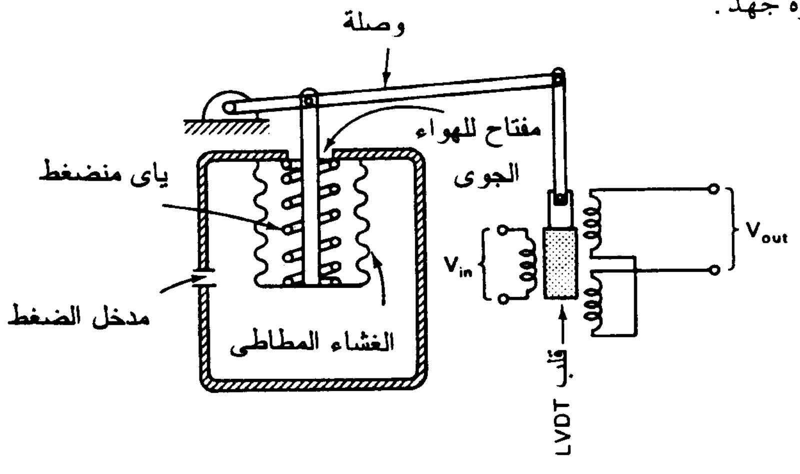
الشكل (٣ – ٤٢) يعرض طريقة استخدام أنبوبة بوردون مع LVDT لتحويل الضغط لإشارة جهد . فعند دخول المائع المضغوط داخل الأنبوبة تتمدد فيحدث إزاحة خطية لقلب LVDT فتخرج إشارة جهد تتناسب مع الإزاحة، علماً بأنه إذا كانت إشارة جهد خرج LVDT موجبة دل على أن الضغط بالموجب، وإذا كانت سالبة دل على أن الضغط بالسالب (خلخلة) .



الشكل (٣ – ٤٢)

الغشاء المطاطى Bellow :

الشكل (٣ – ٤٣) يعرض طريقة استخدام Bellow مع LVDT لتحويل الضغط لإشارة جهد .



الشكل (٣ – ٤٣)

فعند دخول المائع المضغوط فتحة الضغط ينكمش الغشاء المطاطى ضد قوة دفع الياى فتتحرك وصلة التوصيل Linkage، وبالتالى يتحرك القلب المغناطيسى لمحول LVDT فيتغير جهد خرجه تبعاً لقيمة الضغط.

٣ / ١٠ / ٤ – محولات درجة الحرارة Temperature Transducers :

سنتعرض فى هذه الفقرة لنوعين من محولات درجة الحرارة، وهما :

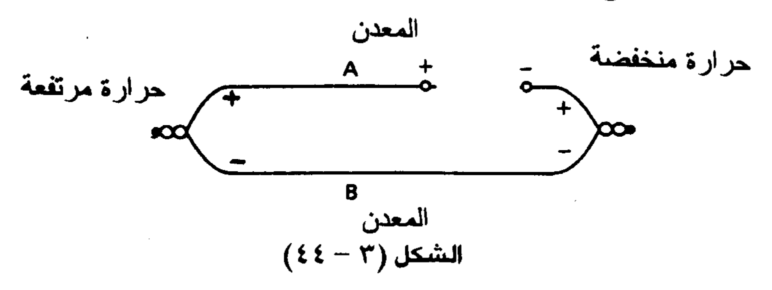
١ – الإزدواجات الحرارية Thermocouples.

٢ – محولات درجات الحرارة ذات المقاومة

Resistive Temperature Transducers.

الازدواجات الحرارية :

يبنى عمل الازدواج الحرارى على أنه عند عمل وصلتين بين معدنين مختلفين، إحداهما درجة حرارتها مرتفعة والأخرى درجة حرارتها منخفضة، يتولد فرق جهد بينهما كما هو واضح من الشكل (٣ – ٤٤).



الشكل (٣ – ٤٤)

محولات درجة الحرارة ذات المقاومة :

وتستخدم مقاومات حرارية فى بناء هذه المحولات. والشكل (٣ – ٤٥) يعرض نماذج بسيطة لهذه المحولات، ففى الشكل أ عندما ترتفع درجة حرارة المقاومة R_2 فإن قيمة المقاومة تزداد وبالتالى يزداد الجهد الخارج من أطراف المقاومة. وفى الشكل ب عند درجة الحرارة المعتادة يتم ضبط خرج القنطرة V_O مساوياً صفراً بواسطة المقاومة R_3، وعند ارتفاع درجة حرارة المقاومة R_4 يتولد جهد على أطراف الخرج V_O يتناسب مع درجة الحرارة.

٣ / ١٠ / ٥ - محولات السرعة
: Tachometers

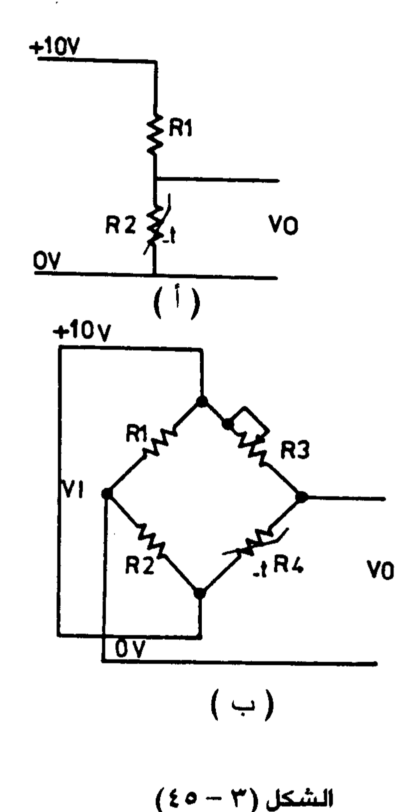
يقوم مولد التاكو بتحويل سرعة الأعمدة الدوارة إلى إشارة كهربية. وهناك نوعان من مولدات التاكو تبعاً لإشارة الخرج وهما:

١ - مولد تاكو بجهد متغير

Magnitude Tacho.

٢ - مولد تاكو بتردد متغير

Frequency Tacho.



الشكل (٣ - ٤٥)

أما مولدات التاكو ذات الجهد المتغير فهى عادة تكون مولدات تيار مستمر صغيرة لها خواص خطية، ونحصل على جهد خرج مولد التاكو من المعادلة التالية:

$$V = KN$$

حيث إن

K ثابت مولد التاكو.

N السرعة (R_{PM}).

V الجهد بالڤولت.

أما مولدات التاكو ذات التردد المتغير فهى تتواجد فى عدة صور أهمها مولد تيار متغير صغير له مجال مغناطيسى دائم فى العضو الدوار، ويقوم المجال الدوار الناتج عن دوران العضو الدوار للمولد بتوليد تيار متغير فى العضو الثابت له تردد نحصل عليه من المعادلة التالية:

$$F = \frac{PN}{120} \rightarrow 3.21$$

حيث إن

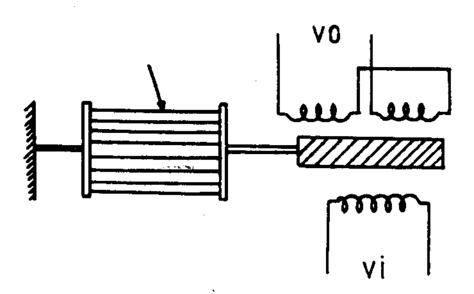
F التردد (HZ) .

P عدد أقطاب التاكو .

N السرعة (RPM) .

٣ / ١٠ / ٦ - محولات الرطوبة Humidity Transducer :

يقصد بالرطوبة وزن بخار الماء الموجود فى المتر المكعب من الهواء. أما الرطوبة النسبية فهى النسبة بين وزن بخار الماء الموجود فى المتر المكعب من الهواء منسوبة لوزن بخار الماء اللازم لتشبع المتر مكعب من الهواء عند نفس الظروف من الضغط ودرجة الحرارة. ومن المعروف أنه كلما ارتفعت درجة حرارة الهواء ازدادت قدرة الهواء على حمل بخار الماء، ويوجد العديد من الأجهزة المستخدمة لتحويل الرطوبة لجهد . وأشهر هذه الأجهزة بل وأقدمها هو الهايجرو ميتر الشعرى Hair Hygrometer، وهو يصنع من شعر الإنسان أو الحيوان، حيث يتغير طول شعر الإنسان أو الحيوان بمقدار 3% من طوله عند تغير الرطوبة النسبية من 10% إلى 100%، ويمكن تحويل هذا التغير فى الطول إلى إزاحة خطية تعمل على تشغيل LVDT، وبالتالى نحصل على إشارة جهد تكافئ الرطوبة. والشكل (٣ – ٤٦) يبين شكلاً مبسطاً لهايجروميتر شعرى .



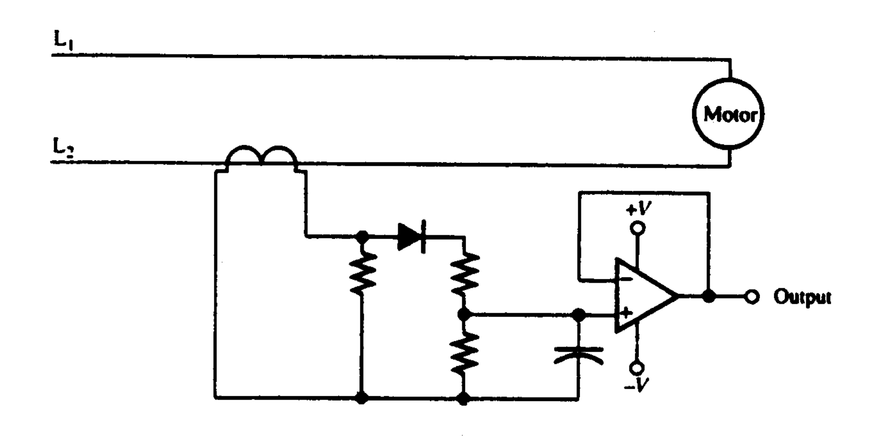
الشكل (٣ – ٤٦)

ويستخدم الهايجروميتر الشعرى لقياس الرطوبة النسبية التى تتراوح ما بين : 15%
90% عند درجات حرارة تتراوح ما بين $40C^{\circ}$: 1 .

٣ / ١٠ / ٧ - محولات التيار Current Transducer :

يستخدم محول التيار عادة لخفض قيمة التيار المتردد إلى قيم صغيرة تتناسب مع قيمته . والشكل (٣ - ٤٧) يعرض دائرة مبسطة تستخدم محول تيار لتحويل التيار المسحوب بواسطة محرك إلى جهد يتناسب مع هذا التيار .

وعادة يكون الملف الابتدائى لمحول التيار هو سلك المحرك، أما الملف الثانوى فهو ملف يحمل تيارا بحد أقصى 1A أو 5A، ويتم توحيد تيار الملف الثانوى بواسطة ثنائى ثم تأخذ إشارة من الجهد الخارج من الثنائى بواسطة مجزئ جهد، ثم يكبر هذه الإشارة بمكبر عمليات للحصول على إشارة جهد تتناسب مع تيار المحرك .



الشكل (٣ - ٤٧)

الباب الرابع

تطبيقات على التحكم فى سرعة

محركات التيار المستمر

تطبيقات على التحكم فى سرعة محركات التيار المستمر

٤ / ١ - دوائر الإشعال :

لقد سبق وأن عرفنا من باب التحكم الالكترونى فى محركات التيار المستمر: أنه يمكن التحكم فى سرعة محركات التيار المستمر بالتحكم فى جهد أطراف عضو الاستنتاج أو جهد أطراف المجال، وذلك بالتحكم فى زوايا إشعال الثايرستورات المستخدمة فى دوائر القدرة لهذه المحركات .

وهناك ثلاثة أنظمة متبعة للتحكم فى زوايا الإشعال وهى كما يلى :

١ - التحكم الخطى فى زوايا الإشعال Linear Control of angle .

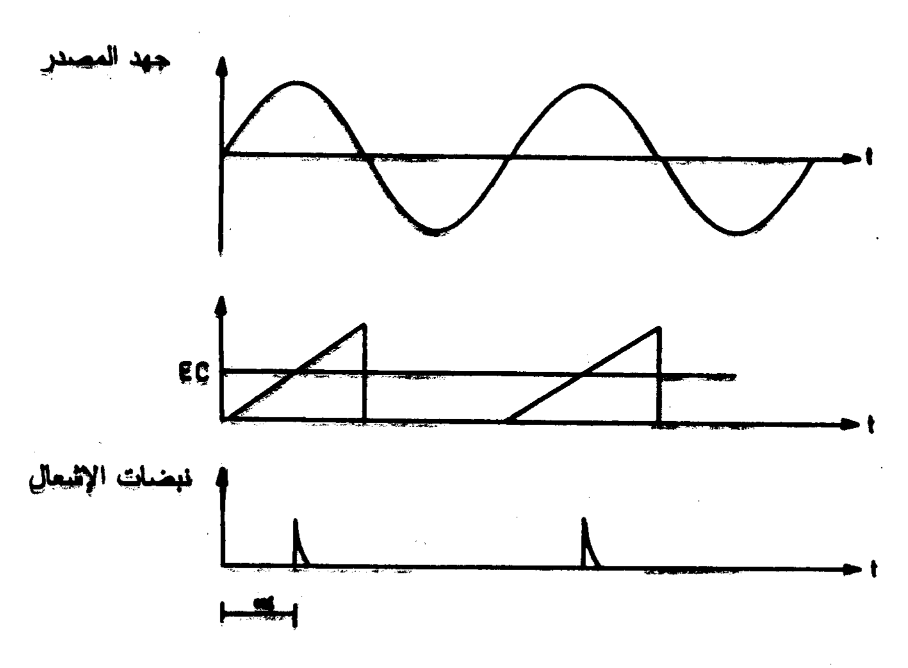
٢ - التحكم بنظام (Cosine) فى زوايا الإشعال Cosine Control of angle .

٣ - التحكم بنظام (1+Cosine) فى زوايا الإشعال (1+Cosine) Control of angle .

ونحيط القارئ علماً بأنه يوجد اختلاف كبير فى تصميم دوائر الإشعال من شخص لآخر، فمن الممكن وجود اختلاف فى دائرة الإشعال بالرغم من تشابه الأداء . والجدير بالذكر أن دوائر الإشعال التى سنتناولها فى هذا الباب ليست هى أفضل التصميمات كما أن قيم المكونات المستخدمة هى قيم تقريبية .

٤ / ١ / ١ - التحكم الخطى فى زوايا الإشعال :

يتم التحكم الخطى فى زوايا الإشعال بمقارنة موجة مثلثة متزامنة مع المصدر المتردد مع جهد التحكم الخارج من المنظم فى حالة الحلقة المغلقة، أو جهد المرجع فى حالة الحلقة المفتوحة، ثم مفاضلة خرج المقارن للحصول على نبضات الإشعال وإزالة المركبة السالبة وهذا مبين بالشكل (٤ - ١) .



الشكل (٤ -١)

والجدير بالذكر أن العلاقة بين زاوية الإشعال α وجهد التحكم E_C فى هذه الحالة نحصل عليه من المعادلة 4.1 :

$$\alpha = K_1 E_C \rightarrow 4.1$$

حيث إن : K_1 ثابت .

وحيث إن معادلة الجهد الخارج على أطراف المحرك فى حالة المحولات النصف محكومة كما بالمعادلة 4.2 :

$$E_O = K_2 (1 + \cos \alpha) \rightarrow 4.2$$

حيث إن :

E_O جهد ثابت .

K_2 ثابت .

وبحل المعادلتين 4.1 و4.2 نحصل على المعادلة 4.3 :

$$E_O = K_2 (1 + \cos K_1 E_C) \rightarrow 4.3$$

أما فى حالة محولات التحكم الكاملة فإن معادلة الجهد الخارج على أطراف المحرك هى كالآتى :

$$E_O = K_3 \cos \alpha \rightarrow 4.4$$

حيث إن :

E_O جهد الخرج.

K_3 ثابت.

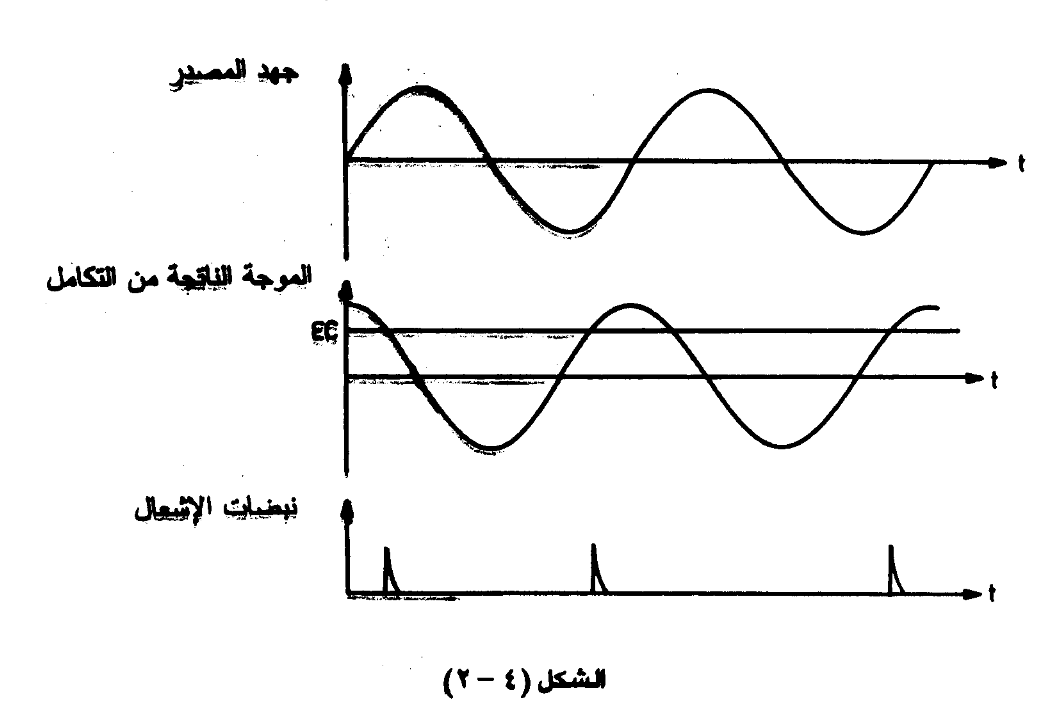
وبحل المعادلتين 4.1 و4.4 نحصل على المعادلة 4.5 :

$$E_O = K_3 \cos K_1 E_C \rightarrow 4.5$$

ويلاحظ من المعادلتين 4.5 و4.3 أن العلاقة بين E_C وE_O ليست علاقة خطية، أى أن نظام التحكم الخطى لا يعطى علاقة خطية بين جهد التحكم وجهد الخرج على أطراف المحرك فى المحولات النصف محكومة وأيضاً المحولات الكاملة.

٤ / ١ / ٢ - التحكم بنظام Cosine في زوايا الإشعال :

يتم التحكم بنظام Cosine في زوايا الإشعال بمكاملة موجة المصدر المتردد، ثم مقارنة الموجة الناتجة عن التكامل مع جهد التحكم الخارج من المنظم في حالة الحلقة المغلقة أو جهد المرجع فى حالة الحلقة المفتوحة، ثم مفاضلة خرج المقارن للحصول على نبضات الإشعال وإزالة المركبة السالبة وهذا مبين بالشكل (٤ - ٢).



الشكل (٤ - ٢)

والجدير بالذكر أن العلاقة بين زوايا الإشعال وجهد التحكم E_C فى هذه الحالة نحصل عليه من المعادلة 4.6 :

$$E_C = K_4 \, Cos\, \alpha \rightarrow 4.6$$

حيث إن : K_4 ثابت .

وبقسمة المعادلة 4.4 على المعادلة 4.6 نحصل على :

$$\frac{E_O}{E_C} = \frac{K_3}{K_4} \rightarrow 4.7$$

ويلاحظ من المعادلة 4.7 أن العلاقة بين E_C وE_O علاقة خطية؛ ولذلك فإن التحكم بنظام Cosine فى زوايا الإشعال يعتبر مثالياً لتطبيقات الحلقة المفتوحة والحلقة المغلقة للمحولات الكاملة والمحولات المزدوجة .

٤ / ١ / ٣ - التحكم بنظام (Cosine + 1) فى زوايا الإشعال :

يتم التحكم بنظام (Cosine + 1) فى زوايا الإشعال بمكاملة موجة المصدر المتردد وجمع الموجة الناتجة عن التكامل مع جهد موجب للتخلص من المركبة السالبة، ثم مقارنة الناتج بجهد التحكم فى الحلقة المغلقة، أو جهد المرجع فى الحلقة المفتوحة، ثم مفاضلة خرج المقارن للحصول على نبضات الإشعال بعد إزالة المركبة السالبة، وهذا مبين بالشكل (٤ - ٣) .

والجدير بالذكر أن العلاقة بين زاوية الإشعال α وجهد التحكم E_C فى هذه الحالة نحصل عليه من المعادلة 4.8 :

$$E_C = K_5 \, (1 + Cos\, \alpha) \rightarrow 4.8$$

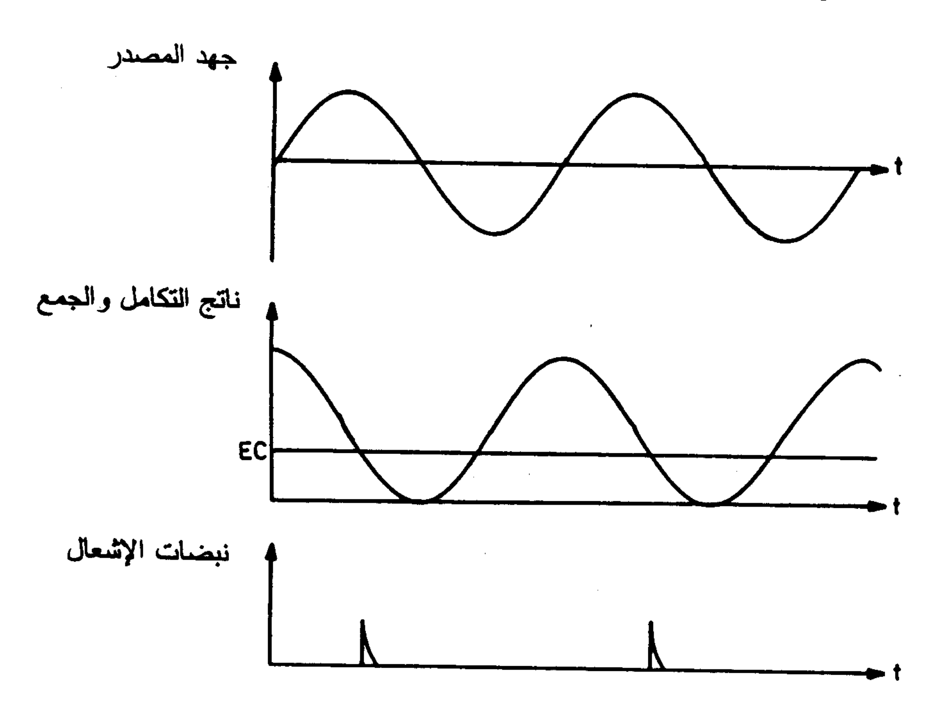
حيث إن : K_5 ثابت .

وبقسمة المعادلة 4.2 على المعادلة 4.8 نحصل على المعادلة 4.9 :

$$\frac{E_O}{E_C} = \frac{K_2}{K_3} \rightarrow 4.9$$

ويلاحظ من المعادلة 4.9 أن العلاقة بين E_C وE_O علاقة خطية لذلك فإن التحكم بنظام (Cosine + 1) فى زوايا الإشعال يعتبر مثالياً لتطبيقات الحلقة المفتوحة والحلقة

المغلقة للمحولات النصف محكومة.



الشكل (٤ - ٣)

٤ / ٢ - الدوائر العملية للتحكم فى محولات التيار المستمر ذات الوجه الواحد:

لقد سبق وأن عرفنا أن محركات التيار المستمر يمكن التحكم فى سرعتها إما بالتحكم فى جهد أطراف عضو الاستنتاج لتقليل سرعة المحرك عن السرعة المقننة مع ثبات العزم، أو بالتحكم فى شدة تيار المجال (توازى - منفصل) لزيادة السرعة مع ثبات القدرة.

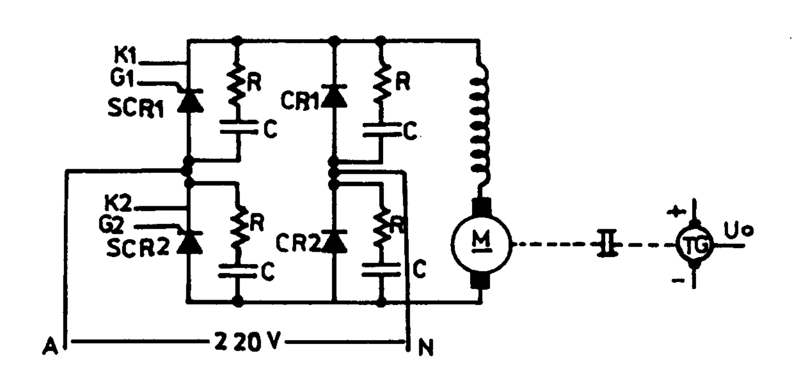
وفى هذه الفقرة سنتناول تطبيقات مختلفة للحلقة المغلقة والحلقة المفتوحة للتحكم فى سرعة محركات التيار المستمر بمحولات نصف محكومة وبمحولات كاملة.

الدائرة رقم ١ :

الشكل (٤ – ٤) يعرض دائرة القدرة لمحول نصف محكوم للتحكم فى سرعة محرك تيار مستمر نوع التوالى، وتعمل الدائرة المؤلفة من R وC كمصيدة **Snubber** تمنع الاشتعال الذاتى للثايرستور نتيجة لقفزات الجهدالتى تحدث فى المصدر الكهربى المتردد، علماً بأن قيم C وR تختار حسب قدرة الثايرستورات المستخدمة .

ويستخدم مولد تاكو له ثابت يساوى 300RPM /V .

والجدير بالذكر أن العناصر التالية CR_2 وSCR_2 و SCR_1 تختار حسب قدرة المحرك .



الشكل (٤ – ٤)

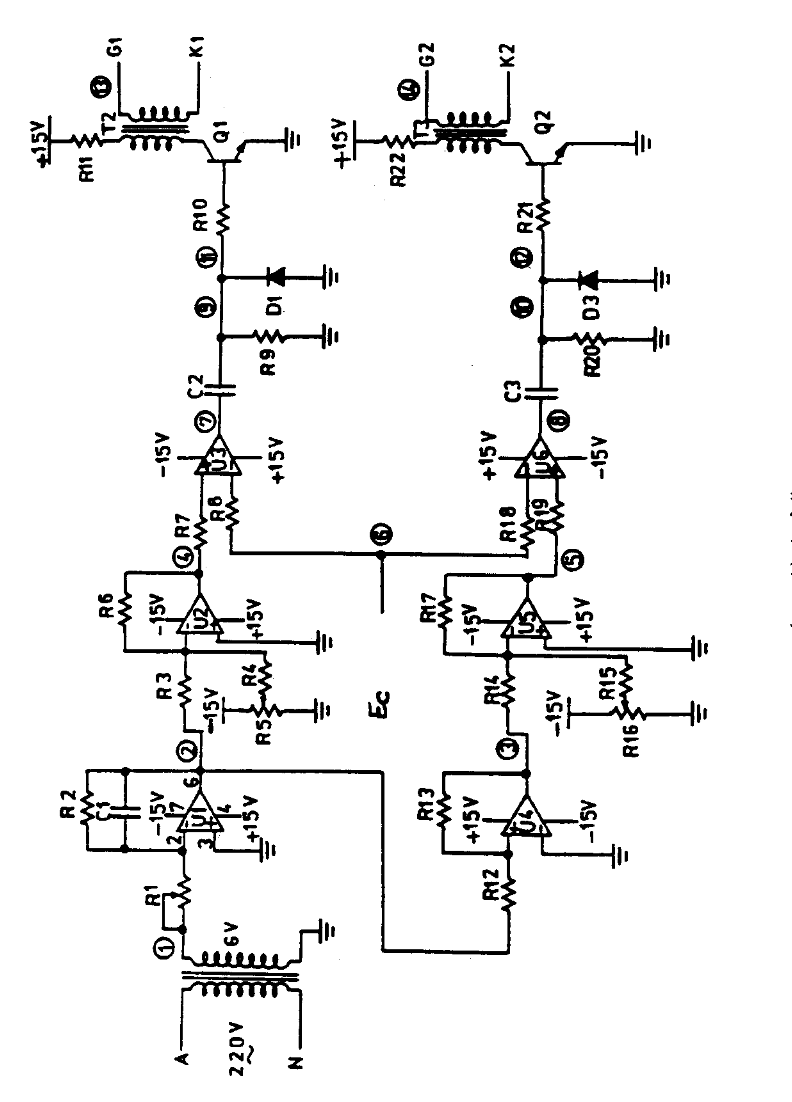
أما الشكل (٤ – ٥) فيبين دائرة إشعال المحول النصف محكوم المبين بالشكل السابق متبعاً نظام التحكم (Cosine + 1) فى زاوية الإشعال .

عناصر دائرة الإشعال :

R_1	مقاومة متغيرة 100KΩ	R_{12}	مقاومة كربونية 10KΩ
R_2	مقاومة كربونية 2MΩ	R_{13}	مقاومة كربونية 10KΩ
R_3	مقاومة كربونية 10K	R_{14}	مقاومة كربونية 10KΩ
R_4	مقاومة كربونية 10K	R_{15}	مقاومة كربونية 10KΩ
R_5	مجزئ جهد 10KΩ	R_{16}	مجزئ الجهد 10KΩ
R_6	مقاومة كربونية 10KΩ	R_{17}	مقاومة كربونية 10KΩ
R_7	مقاومة كربونية 10KΩ	R_{18}	مقاومة كربونية 10KΩ
R_8	مقاومة كربونية 10KΩ	R_{19}	مقاومة كربونية 10KΩ

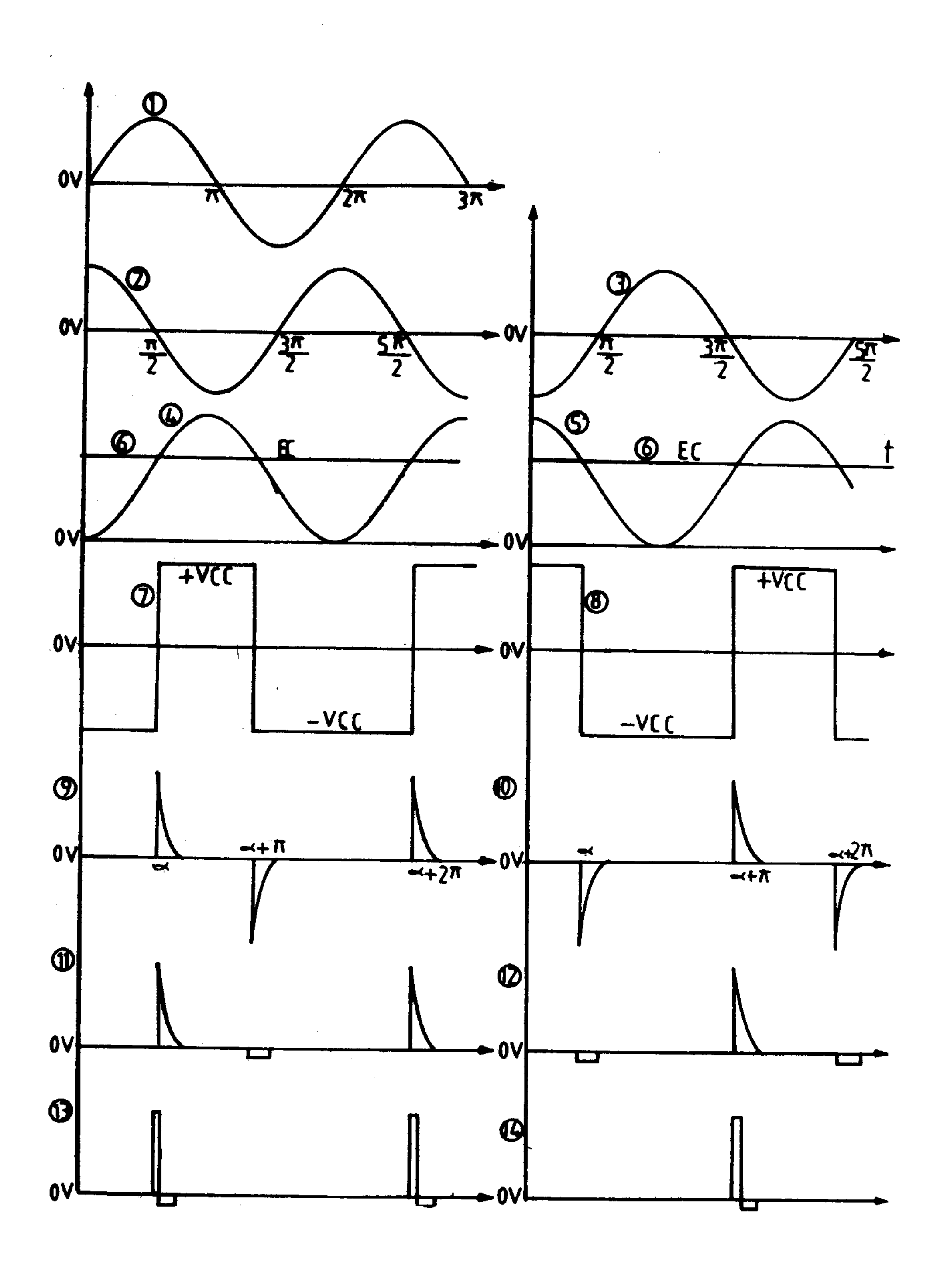
R_9	مقاومة كربونية 2.7KΩ	R_{20}	مقاومة كربونية 2.7KΩ
R_{10}	مقاومة كربونية 6.8KΩ	R_{21}	مقاومة كربونية 6.8KΩ
R_{11}	مقاومة كربونيـــة 2W, 2Ω	R_{22}	مقاومة كربونيـــة 2W, 2Ω

C_1, C_2, C_3	مكثفات بوليستير سعتها 0.1 μF.
D_1, D_2, D_3, D_4	ثنائيات سليكونية طراز 1N4001 .
Q_1 - Q_6	ترانزستور NPN طراز BC108B.
U_1 - U_6	مكبرات عمليات طراز 741.
T_1	محول خفض 220/8V وسعته 15VA .
T_2, T_3	محولات نبضات بنسبة 1 :1 .
S_1	مفتاح قطب واحد سكة واحدة.



A
220V
N
6V
R1
R2
C1
U1
R3
R4
R5
R6
U2
R7
R8
U3
C2
R9
D1
R10
R11
T2
Q1
G1
K1
R12
R13
U4
R14
R15
R16
R17
U5
R18
R19
U6
C3
R20
D3
R21
R22
T3
Q2
G2
K2
Ec
+15V
-15V

الشكل (٤ - ٥)



الشكل (٤ – ٦)

نظرية التشغيل:

حتى يسهل علينا استيعاب نظرية التشغيل سنستعين بموجات الجهد عند النقاط المختلفة لدائرة الإشعال والمبينة بالشكل (٤ – ٦).

يقوم المحول T_1 بخفض جهد المصدر المتردد من 220/6V ويكون خرج المحول موجة جيبية مطابقة لموجه المصدر المتردد مع اختلاف سعتيهما (الموجة 1) ويقوم المكامل U_1 بعمل تكامل لخرج المحول T_1 فيكون خرج المكامل U_1 موجه جيبية تشبه الموجة الخارجة من المحول T_1 مع إزاحة مقدارها $\frac{\pi}{2}$ (الموجة 2).

أما الجامع U_2 فيعمل على إضافة مركبة جهد ثابتة، نحصل عليها من مجزئ الجهد R_5 لخرج المكامل U_1، وذلك من أجل إزالة المركبة السالبة لموجة الجهد الخارجة من U_1 (الموجة 4)، ويعمل المقارن U_3 على مقارنة خرج الجامع U_2 مع جهد التحكم E_C، فإذا كان جهد التحكم E_C أكبر من خرج الجامع U_2 يكون خرج المقارن مشبعاً موجباً $+V_{sat}$ والعكس بالعكس؛ وذلك لأن معامل تكبير U_3 يصل إلى 100000 لأنه بدون تغذية مرتدة (الموجة 7) ويقوم المفاضل المؤلف R_9 , C_2 بمفاضلة خرج المقارن U_3 فنحصل على نبضات موجبة وسالبة (الموجة 9).

أما الثنائى D_1 فيعمل على إزالة النبضات السالبة من خرج المفاضل (الموجة 11)، وتستخدم هذه النبضات فى قدح (إشعال) الثايرستور SCR_1 من خلال الترانزستور Q_1 ومحول النبضات T_2 وذلك عند الزوايا:

$$\alpha, (\alpha + 2\pi), (\alpha + 4\pi), (\alpha + 6\pi), ...$$

أما العاكس U_4 فيقوم بعكس خرج المكامل U_1 (الموجة 3).

ويقوم الجامع العاكس U_5 بإضافة مركبة جهد ثابتة نحصل عليها من مجزئ الجهد R_{16} لخرج العاكس U_4 لإزالة المركبة السالبة من خرج العاكس (الموجة 5). بينما يقوم المقارن U_6 بمقارنة خرج الجامع U_5 مع جهد التحكم E_C، فإذا كان الجهد E_C أكبر من خرج U_5 يصبح خرج المقارن U_6 مشبعاً موجباً والعكس بالعكس (الموجة 8).

فى حين يقوم المفاضل المؤلف من R_{20} وC_3 بمفاضلة خرج المقارن U_6 فنحصل على

نبضات موجبة وسالبة (الموجة 10).

أما الثنائى D_3 فيعمل على إزالة النبضات السالبة من خرج المفاضل (الموجة 12) وتستخدم هذه النبضات فى فتح الثايرستور SCR_2 من خلال الترانزستور Q_2 ومحول النضات T_3 عند الزوايا .... $\alpha + \pi , \ \alpha + 3\pi , \ \alpha + 5\pi, \ \alpha + 7\pi,$

وتعتمد قيمة α على قيمة جهد التحكم القادم من المنظمات فى حالة الحلقة المغلقة أو جهد المرجع فى حالة الحلقة المفتوحة.

والجدير بالذكر أن القيمة العظمى لجهد التحكم E_C تساوى القيمة العظمى لخرج المكبر U_5 وU_2 ويتم تحقيق ذلك بواسطة المقاومات المتغيرة $[R_{16} , R_5 , R_1]$.

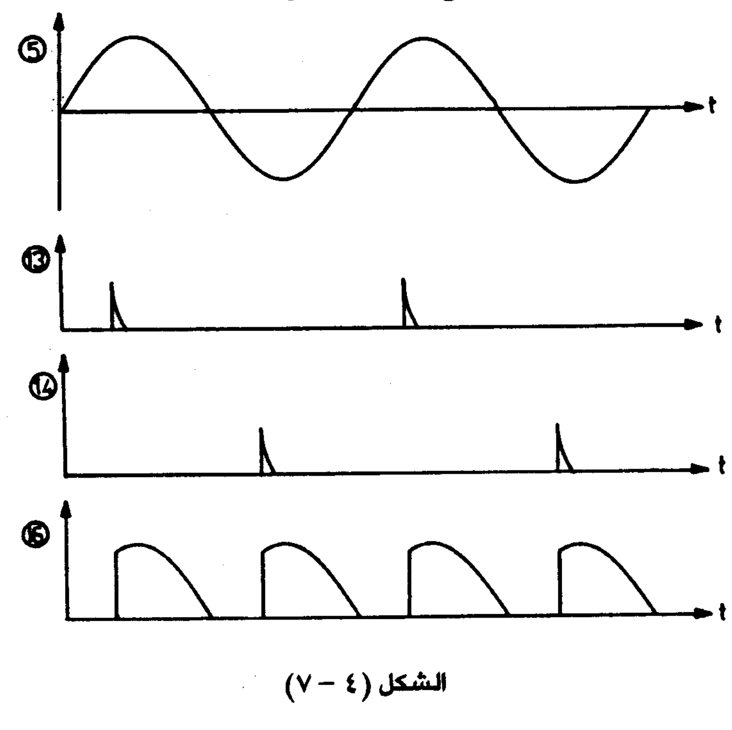
والشكل (٤ – ٧) يعرض شكل موجات الجهد عند النقاط المختلفة لدائرة القدرة للمحرك المستمر نوع التوالى:

فالموجة 15 : لمصدر القدرة المتردد.

13 : لنبضات الإشعال على الجانب الثانوى للمحول T_2.

14 : لنبضات الإشعال على الجانب الثانوى للمحول T_3.

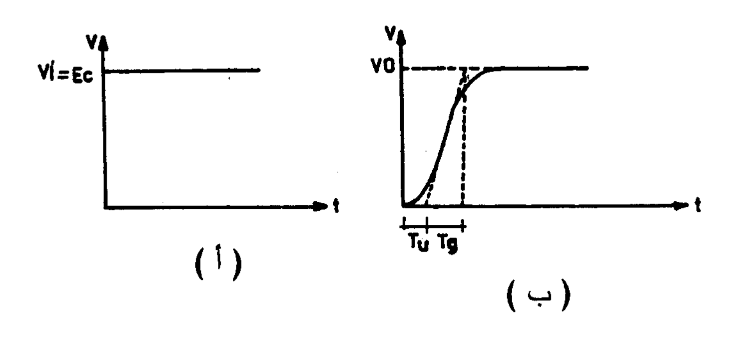
16 : للجهد المسلط على المحرك المستمر.



الشكل (٤ – ٧)

تعيين ثوابت المحرك :

يمكن تعيين ثوابت المحرك بواسطة تثبيت مولد تاكو على عمود المحرك، ثم إدخال قفزة Step على مدخل جهد التحكم E_C فى دائرة الإشعال قيمتها V_i، ثم بواسطة الراسم X-Y Plotter نسجل خرج مولد التاكو مع الزمن. والشكل (٤ – ٨) يبين العلاقة بين جهد القفزة والزمن (الشكل أ)، والعلاقة بين خرج مولد التاكو مع الزمن (الشكل ب).



الشكل (٤ – ٨)

والجدير بالذكر أنه يجب تساوى ثابت مولد التاكو (النسبة بين سرعة التاكو وجهد خرجه) مع النسبة بين سرعة المحرك الرئيسى وجهد المرجع، فمثلا :

أن يكون ثابت مولد التاكو يساوى 300RPM/V.

وتكون النسبة بين سرعة المحرك وجهد المرجع $300RPM/V = \frac{1500}{5}$.

ثم نعين ثوابت النظام (المحرك الرئيسى) من منحنى الخرج للنظام، وهى كالآتى :

أ – زمن السكون (الزمن الميت) Dead time (T_U).

ب – زمن التعويض Compensation time (T_g).

جـ – معامل التكبير Amplification factor (A_V).

ونحصل عليه من المعادلة : $A_V = \frac{V_O}{V_i}$

تعيين ثوابت المنظمات المختلفة المستخدمة فى الحلقة المغلقة :

وباستخدام قواعد شن وهرونس وريسوك Chien, Hrones and Reswick يمكن تعيين ثوابت المنظمات فى حالة استخدام منظم تناسبى (P) أو منظم تناسبى تكاملى (PI) أو منظم تناسبى تفاضلى تكاملى PID بالاستعانة بالجدول (٤ – ١).

الجدول (٤ – ١)

K_P	K_I	K_D	ثابت المنظم / نوع المنظم
$\frac{T_g}{T_U \cdot A_V}$	----	----	تناسبى (P)
$\frac{0.95\ T_g}{T_U \cdot A_V}$	$\frac{K_P}{3.3\ T_U}$	----	تناسبى تكاملى(PI)
$1.2\ \frac{T_g}{T_U \cdot A_V}$	$\frac{K_P}{2\ T_U}$	$\frac{1}{2}\ (K_P\ T_U)$	تناسبى تفاضلى تكاملى(PID)

وبمعرفة قيم K_P, K_I, K_D يمكن تصميم حلقة مغلقة للتحكم فى هذا المحرك مستخدماً أحد المنظمات التالية :

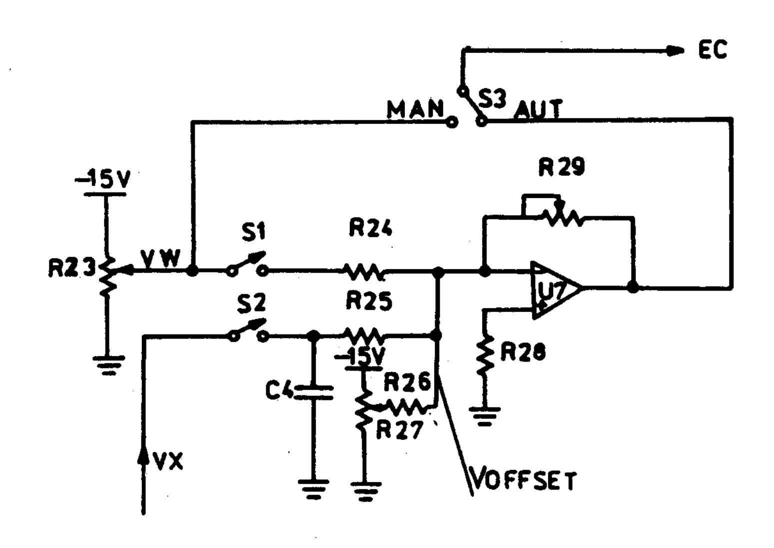
١ – منظم تناسبى بمعلومية K_P .

٢ – منظم تناسبى تكاملى بمعلومية K_P, K_I .

٣ – منظم تناسبى تكاملى تفاضلى بمعلومية K_P, K_I, K_D .

أولا : المنظم التناسبى :

الشكل (٤ – ٩) يبين الدائرة الإلكترونية للمنظم التناسبى .



الشكل (٤ - ٩)

عناصر المنظم التناسبى:

R_{23}	مجزئ جهد 10KΩ	R_{27}	مجزئ جهد 10KΩ
R_{24}	مقاومة كربونية 10KΩ	R_{28}	مقاومة كربونية 10KΩ
R_{25}	مقاومة كربونية 10KΩ	R_{29}	مقاومة متغيرة 10KΩ
R_{26}	مقاومة كربونية 10KΩ		

C_4	مكثف سعته 10 µF وجهده 16V.
S_1, S_2	مفتاح قطب واحد سكة واحد.
S_3	مفتاح قطب واحد سكتين.
U_7	مكبر عمليات طراز 741.

نظرية التشغيل:

عند فتح S_2 وS_1 ووضع المفتاح S_3 على الوضع Man نحصل على حلقة مفتوحة للتحكم فى سرعة محرك التيار المستمر فى الربع الأول فقط.

وعند غلق S_2 و S_1 ووضع المفتاح S_3 على وضع Aut نحصل على حلقة مغلقة بمنظم تناسبى للتحكم فى سرعة محرك التيار المستمر فى الربع الأول فقط.

ويعمل المكبر U_7 كمكبر جامع عاكس، ويؤدى وظيفة منظم تناسبى ومقارن فى نفس الوقت، وخرجه يساوى:

$$V_{O7} = - K_P (V_X - V_W - V_{offset})$$

حيث إن:

V_{O7} خرج المكبر U_7.

V_W جهد المرجع والذى يقابل السرعة المطلوبة، ونحصل عليه من المجزئ R_{23}.

V_X جهد التاكو المقابل لسرعة المحرك الفعلية ونحصل عليه من الطرف الموجب للتاكو.. مع توصيل الطرف السالب للتاكو بالأرضى، ويتم ترشيح خرج مولد التاكو بالمكثف C_4.

V_{offset} هو جهد يعمل على استمرار وجود خرج للمنظم التناسبى عندما يصبح جهد الخطأ $V_e = (V_W - V_X)$ مساوياً الصفر.

K_P هو ثابت الحاكم التناسبى ويساوى النسبة

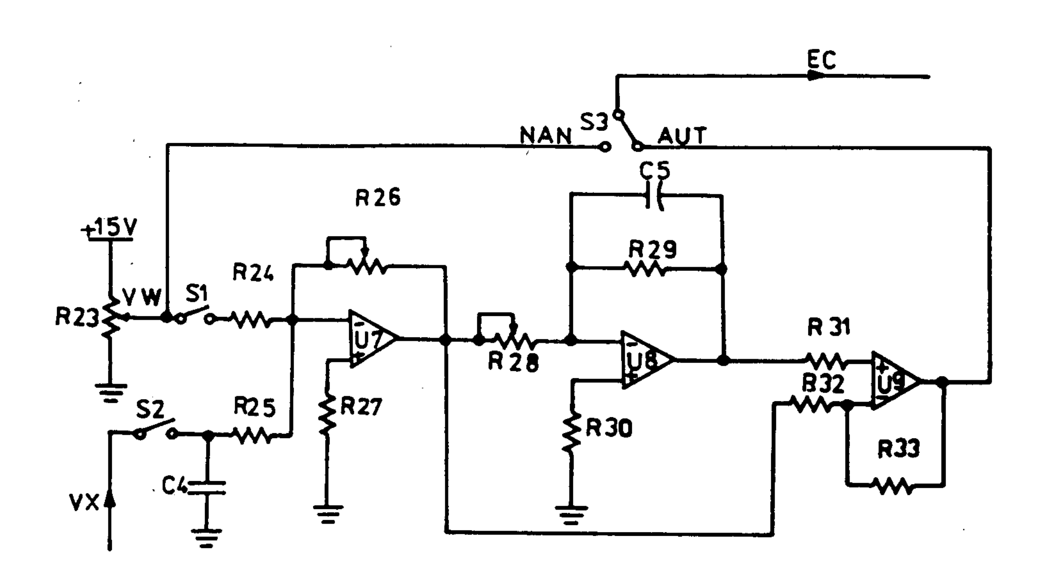
$$\frac{R_{29}}{R_{24}} = \frac{R_{29}}{10K\Omega}.$$

وخرج المنظم التناسبى يمثل جهد التحكم E_C. وعادة تضبط V_{offset} بحيث تصبح سرعة المحرك عند انعدام الخطأ مساوياً 60% من السرعة المطلوبة للمحرك، فإذا كانت سرعة المحرك المطلوبة 1500 RPM عند جهد مرجع 5V فإن جهد offset يساوى:

$$V_{offset} = 0.6 * 5 = + 3V$$

ثانيا: المنظم التناسبى التكاملى:

الشكل (٤ - ١٠) يبين الدائرة الإلكترونية للمنظم التناسبى التكاملى.



الشكل (٤ - ١٠)

عناصر المنظم التناسبي التكاملي:

R_{23}	مجزئ جهد 10KΩ	R_{29}	مقاومة كربونية 2MΩ
R_{24}	مقاومة كربونية 10KΩ	R_{30}	مقاومة كربونية 10KΩ
R_{25}	مقاومة كربونية 10KΩ	R_{31}	مقاومة كربونية 10KΩ
R_{26}	مقاومة متغيرة 10KΩ	R_{32}	مقاومة كربونية 10KΩ
R_{27}	مقاومة كربونية 4.7KΩ	R_{33}	مقاومة كربونية 10KΩ
R_{28}	مقاومة متغيرة 100KΩ		

C_4 مكثف سعته 10μF وجهده 16V.

U_7, U_8, U_9 مكبرات عمليات 741.

S_1, S_2 مفاتيح قطب واحد سكة واحدة.

S_3 مفتاح قطب واحد سكتين.

نظرية التشغيل:

عند فتح S_2 وS_1 ووضع المفتاح S_3 على الوضع Man نحصل على حلقة مفتوحة.

وعند غلق S_2 و S_1 ووضع المفتاح على الوضع Aut نحصل على حلقة مغلقة.

ويعمل المكبر U_7 كمكبر جامع ويؤدى وظيفة منظم تناسبى ومقارن فى نفس الوقت وخرجه يساوى:

$$V_{O7} = + K_P (V_W - V_X)$$

حيث إن: K_P ثابت المنظم التناسبى يساوى: $\frac{R_{26}}{10K\Omega} = \frac{R_{26}}{R_{24}}$

ويعمل المكبر U_8 كمكامل، ويتم التحكم فى ثابت المكامل K_I بواسطة المقاومة R_{28}، علماً بأن قيمة K_I المحسوبة من قواعد شن وهرونس وريسوك تساوى:

$$K_I = K_P / R_{28}\ C_5$$

وذلك لأن خرج المنظم التناسبى يمثل دخل المنظم التكاملى.

ويعمل المكبر U_9 كمكبر فرقى، حيث يكون خرجه مساوياً خرج المنظم التكاملى مطروحاً منه خرج المنظم التناسبى. وخرج المكبر U_9 يمثل جهد التحكم E_C.

ثالثاً: المنظم التناسبى التكاملى التفاضلى:

الشكل (٤ – ١١) يبين الدائرة الإلكترونية للمنظم التناسبى التكاملى التفاضلى.

عناصر المنظم التناسبى التكاملى التفاضلى:

R_{23}	مجزئ جهد 10KΩ	R_{32}	مقاومة كربونية 2MΩ
R_{24}	مقاومة كربونية 10KΩ	R_{33}	مقاومة كربونية 100KΩ
R_{25}	مقاومة كربونية 10KΩ	R_{34}	مقاومة كربونية 10KΩ
R_{26}	مقاومة كربونية 10KΩ	R_{35}	مقاومة متغيرة 100KΩ
R_{27}	مقاومة كربونية 10KΩ	R_{36}	مقاومة كربونية 100KΩ
R_{28}	مقاومة متغيرة 100KΩ	R_{37}	مقاومة كربونية 10KΩ
R_{29}	مقاومة كربونية 10KΩ	R_{38}	مقاومة كربونية 10KΩ
R_{30}	مقاومة كربونية 10KΩ	R_{39}	مقاومة كربونية 4.7KΩ
R_{31}	مقاومة متغيرة 100KΩ	R_{40}	مقاومة كربونية 10KΩ

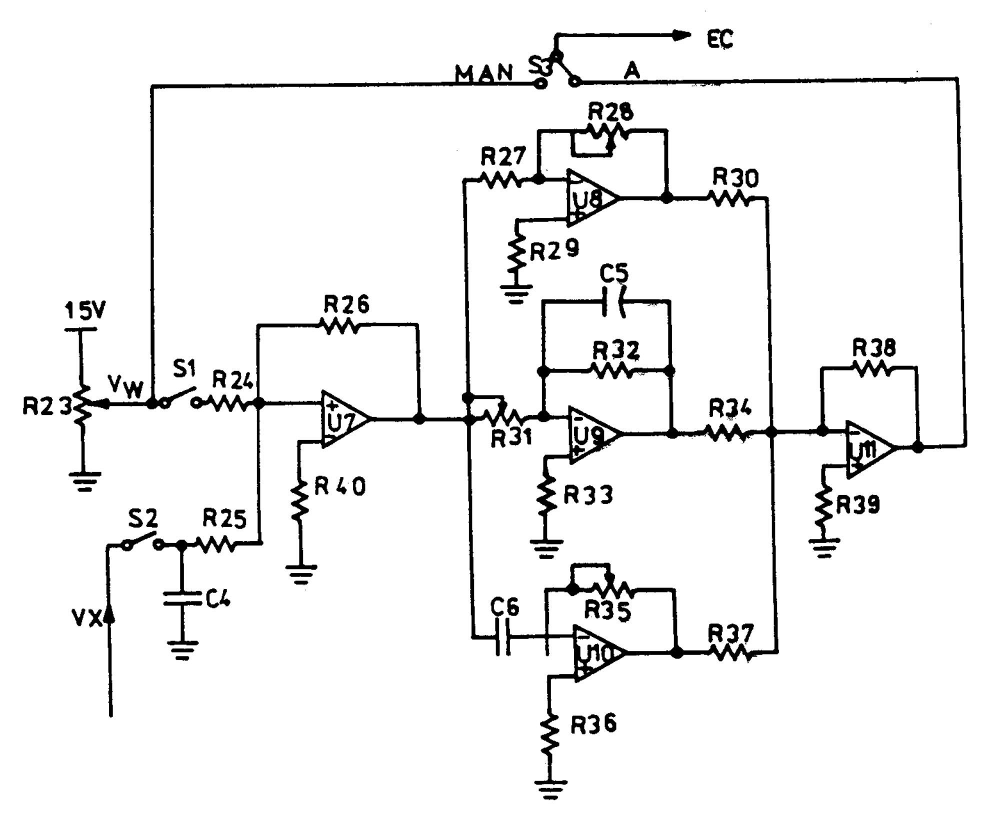
C_4 مكثف سعته 10 µF وجهده 16V.

C_5, C_6 مكثف كيميائى سعته 0.47 µF وجهده 16V.

U_7, U_{11} مكبرات عمليات طراز 741.

S_1, S_2 مفاتيح قطب واحد سكة واحدة.

S_3 مفتاح قطب واحد سكتين.



الشكل (٤ - ١١)

نظرية التشغيل:

عند وضع المفتاح S_3 على وضع MAN وفتح المفاتيح S_2 و S_1 نحصل على حلقة مفتوحة.

وعند وضع المفتاح S_3 على وضع Aut وغلق المفاتيح S_2 وS_1 نحصل على حلقة مغلقة.

ويعمل المكبر U_7 كجامع عاكس وهو يمثل المقارن، وخرجه يساوى:

$$V_{O7} = (V_W - V_X)$$

ويعمل المكبر U_8 كمكبر عاكس وهو يمثل المنظم التناسبى، وثابتة يساوى:

$$K_P = \frac{R_{28}}{R_{27}}$$

ويعمل المكبر U_9 كمكامل وهو يمثل المنظم التكاملى، وثابتة يساوى:

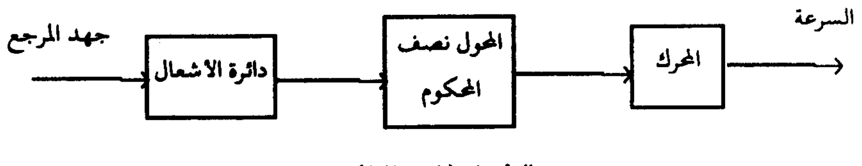
$$K_i = 1/R_{31} C_5$$

ويعمل المكبر U_{10} كمفاضل وهو يمثل المنظم التفاضلى، وثابتة يساوى:

$$K_D = R_{35} C_6$$

ويعمل U_{11} كجامع عاكس يجمع خرج المنظمات الثلاثة، وخرج هذا الجامع العاكس يمثل جهد التحكم E_C.

والشكل (٤ – ١٢) يعرض المخطط الصندوقى للحلقة المفتوحة، وهى تتكون من دائرة الإشعال والمحول النصف محكوم والمحرك.



الشكل (٤ – ١٢)

أما الشكل (٤ – ١٣) فيعرض المخطط الصندوقى للحلقة المغلقة، وهى تتكون من منظم (تناسبى أو تناسبى تكاملى أو تناسبى تكاملى تفاضلى) ودائرة إشعال والمحول النصف محكوم والمحرك ومولد التاكو.

ملاحظة: -

للحصول على جهد أساس يتراوح ما بين (0:-5V) فى الأشكال (٤ – ٩)، (٤ – ١٠)، (٤ – ١١) توصل مقاومة ثابتة 20KΩ بالتوالى مع مجزئ الجهد R_{23} من جهة الجهد -15V.

المقارن
VW+
Ve
VX-
المنظم
دائرة الإشعال
المحول النصف محكوم
المحرك
سرعة المحرك
محول الإشارة

الشكل (٤ – ١٣)

الدائرة رقم 2 :

الشكل (٤ – ١٤) يعرض دائرة الإشعال بنظام التحكم الخطى Linear لدائرة القدرة للمحول النصف محكوم المبينة بالشكل (٤ – ٤) .

عناصر دائرة الإشعال :

R_1 مقاومة كربونية 1KΩ

R_2 مقاومة كربونية 1KΩ

R_3 مقاومة كربونية 10KΩ

R_4 مقاومة كربونية 10KΩ

R_5 مجزئ جهد 10KΩ

R_6 مقاومة كربونية 10KΩ

R_7 مقاومة كربونية 10KΩ

R_8 مقاومة كربونية 10KΩ

R_9 مقاومة كربونية 1KΩ

R_{10} مقاومة متغيرة 50KΩ

R_{11} مقاومة كربونية 2W,2Ω

R_{12} مقاومة كربونية 1KΩ

R_{13} مقاومة متغيرة 100KΩ

R_{14} مقاومة كربونية 10KΩ

R_{15} مقاومة كربونية 10KΩ

R_{16} مقاومة متغيرة 100KΩ

R_{17} مقاومة كربونية 10KΩ

R_{18} مقاومة كربونية 10KΩ

R_{19} مقاومة كربونية 10KΩ

R_{20} مقاومة كربونية 1KΩ

R_{21} مقاومة متغيرة 50KΩ

R_{22} مقاومة كربونية 2W,2Ω

R_{23} مقاومة كربونية 6.8KΩ

R_{24} مقاومة كربونية 6.8KΩ

C_1, C_2 مكثفات كيميائية سعتها 0.1 μ F وجهدها 16V .

C_3, C_4 مكثفات كيميائية سعتها 0.5 μ F وجهدها 16V + .

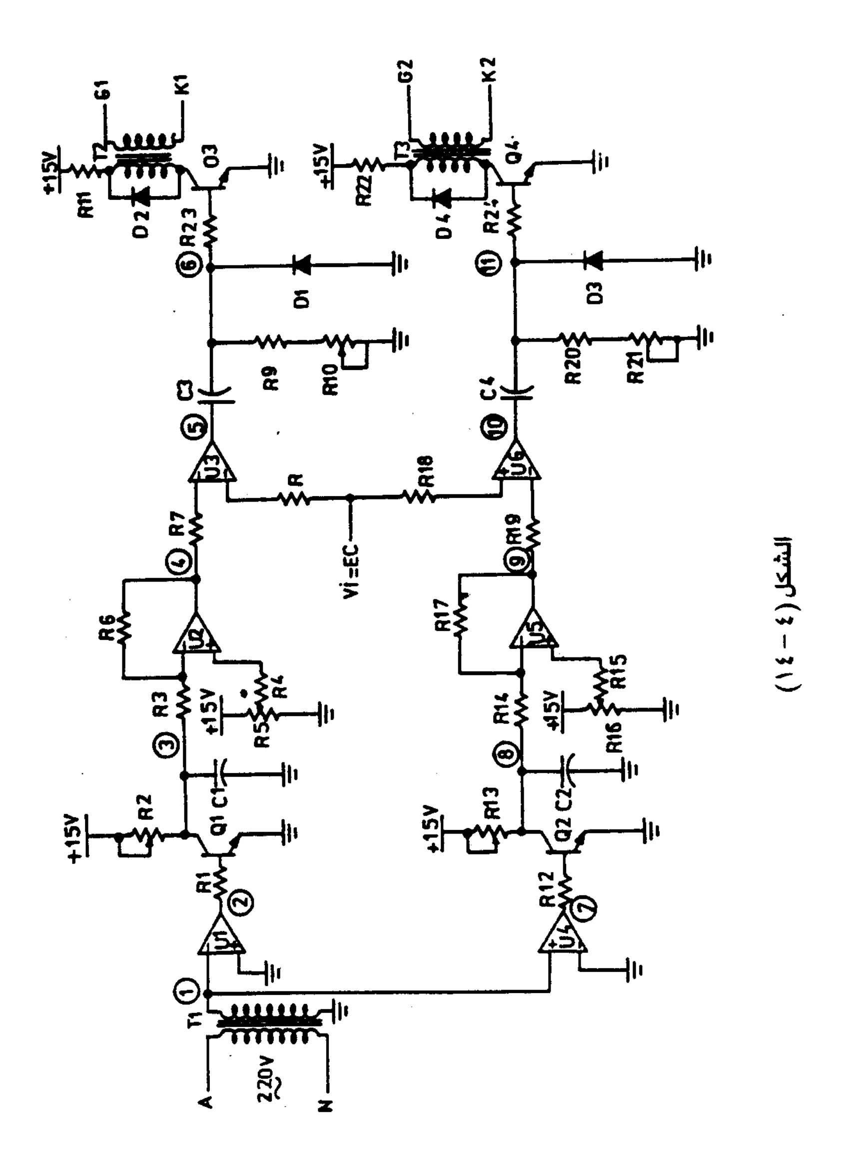
Q_1, Q_2 ترانزستورات NPN طراز 2N 3904 .

Q_3, Q_4 ترانزستورات NPN طراز BC108B .

$U_1 - U_6$ مكبرات عمليات طراز 741 .

T_1 محول خفض 220/6V وسعته 15VA .

T_2, T_3 محولات نبضات بنسبة تحويل 1:1 .

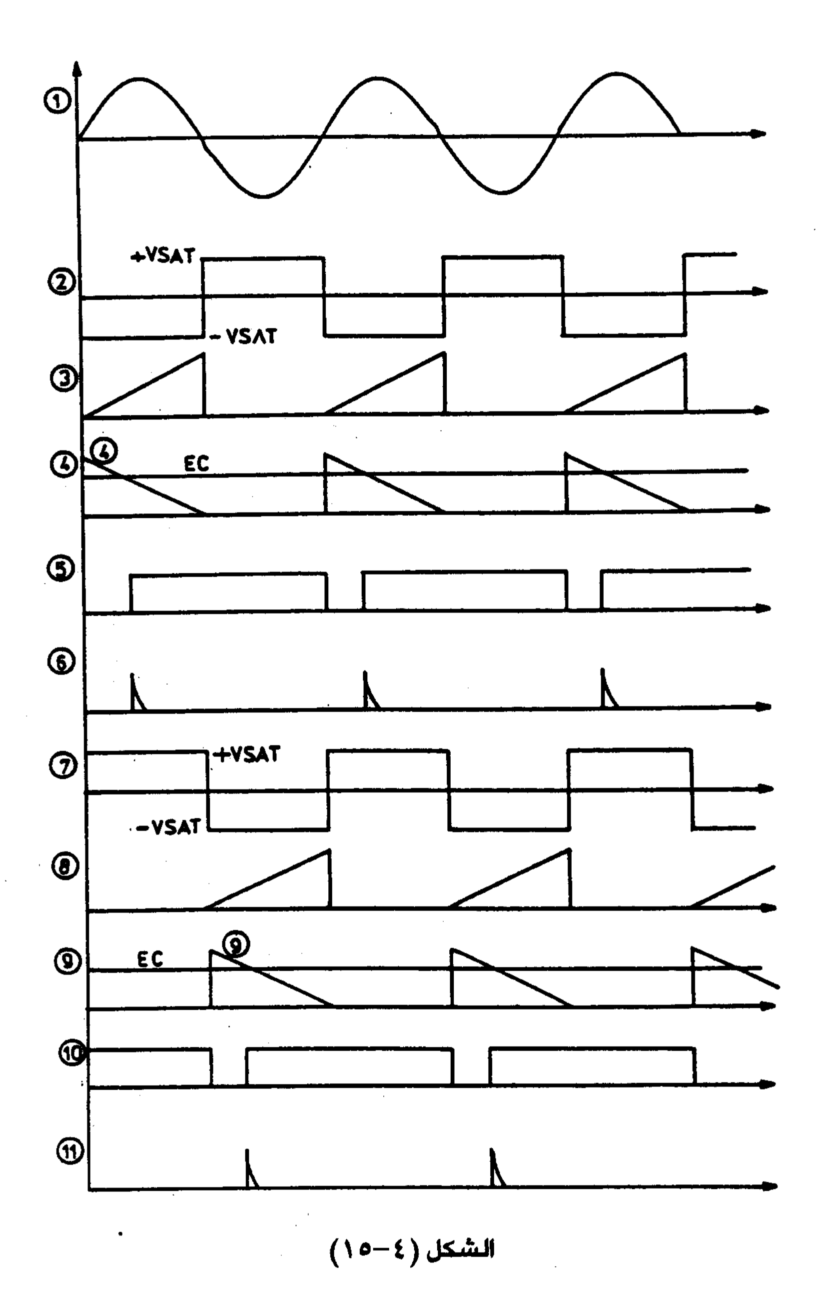


A
N
220V
T1
U1
U2
U3
U4
U5
U6
Q1
Q2
Q3
Q4
R1
R2
R3
R4
R5
R6
R7
R9
R10
R12
R13
R14
R15
R16
R17
R18
R19
R20
R21
R22
R23
R
C1
C2
C3
C4
D1
D2
D3
D4
T2
T3
G1
K1
G2
K2
+15V
Vi=EC

الشكل (٤ - ١٤)

نظرية التشغيل:

حتى يسهل علينا استيعاب نظرية التشغيل سنستعين بموجات الجهد عند النقاط المختلفة لدائرة الإشعال والمبينة بالشكل (٤-١٥).



الشكل (٤-١٥)

ويمكن تقسيم أداء هذه الدائرة إلى ثلاثة عشرة مرحلة وهى كما يلى:

١- تخفيض جهد المصدر بواسطة المحول T_1 (الموجة 1).

٢- مقارنة الجهد عند النقطة 1 بالصفر بواسطة المكبر U_1 (الموجة 2).

٣- إيقاف مولد النبضات المثلثة Ramp والذى يتألف من R_2 , C_1 أثناء النصف السالب لموجة المصدر بواسطة الترانزستور Q_1 لتحوله لحالة الوصل (الموجة 3).

٤- تغيير شكل النبضات المثلثة بواسطة المكبر الفرقى U_2 (الموجة 4).

٥- مقارنة خرج المكبر الفرقى U_2 مع جهد التحكم E_C بواسطة المقارن U_3 (الموجة 5).

٦- مفاضلة خرج المقارن U_3 بواسطة الدائرة التفاضلية المؤلفة من R_9, R_{10}, C_3، وإزالة المركبة السالبة الناتجة عن التفاضل وتحديد قيمتها بواسطة الثنائى D_1 (الموجة 6) .

٧- مقارنة الجهد عند النقطة 1 بالصفر بواسطة المكبر U_4 (الموجة 7).

٨- إيقاف مولد النبضات المثلثة Ramp والذى يتألف من R_{13}, C_2 أثناء النصف الموجب لموجة المصدر بواسطة الترانزستور Q_2 لتحوله لحالة الوصل (الموجة 8).

٩- تغيير شكل النبضات المثلثة بواسطة المكبر الفرقى U_5 (الموجة 9)

١٠ - مقارنة خرج المكبر الفرقى U_5 مع جهد التحكم E_C بواسطة المقارن U_6 (الموجة 10)

١١- مفاضلة خرج المقارن U_6 بواسطة الدائرة التفاضلية المؤلفة من R_{20}, R_{21}, C_4، وإزالة المركبة السالبة وتحديد قيمتها بواسطة D_3 (الموجة 11).

١٢- نقل نبضات إشعال الثايرستور SCR_1 من النقطة 6 بواسطة الترانزستور Q_3 عبر محول النبضات T_2 .

١٣- نقل نبضات إشعال الثايرستور SCR_2 من النقطة 11 بواسطة الترانزستور Q_4 عبر محول النبضات T_3 .

والجدير بالذكر أنه يمكن استخدام المنظم التناسبى المبين بالشكل (٤-٩)، او المنظم التناسبى التكاملى المبين بالشكل (٤-١٠) أو المنظم التناسبى التكاملى التفاضلى المبين بالشكل (٤-١١) للحصول على حلقة مغلقة.

ملاحظات :

١- يمكن ضبط أقصى سعة للموجات المثلثة Ramp بواسطة المقاومات المتغيرة R_2,R_4، بحيث تصبح مساوية القيمة العظمى لجهد التحكم الأقصى E_C القادم من المنظم فى حالة الحلقة المغلقة أو مساوية للقيمة العظمى لجهد المرجع فى حالة استخدام حلقة مفتوحة.

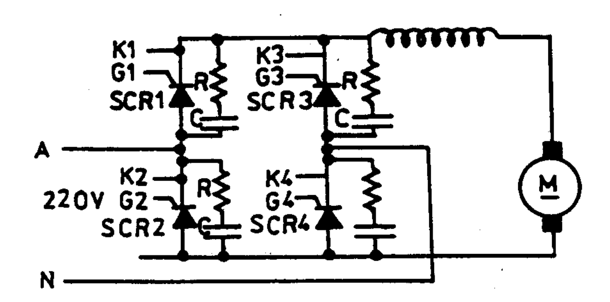
٢- يمكن التحكم فى زمن نبضات إشعال الثايرستور SCR_1 بواسطة المقاومة المتغيرة R_{10} والتحكم فى زمن نبضات إشعال الثايرستور SCR_2 بواسطة المقاومة R_{21}.

٣- يعمل الثنائى D_2 على حماية الترانزستور Q_3 من القوة الدافعة الكهربية المتولدة من الملف الابتدائى للمحول T_2 عند تحول الترانزستور لحالة القطع بفعل الحث . ويعمل الثنائى D_4 على حماية الترانزستور Q_4 من القوة الدافعة الكهربية المتولدة من الملف الابتدائى للمحول T_3 عند تحول الترانزستور لحالة القطع بفعل الحث أيضاً.

٤- يجب تساوى ثابت مولد التاكو (النسبة بين سرعة التاكو وجهد خرجه) مع النسبة بين سرعة المحرك الرئيسى وجهد المرجع.

الدائرة رقم 3 :

الشكل (٤-١٦) يعرض دائرة القدرة لمحول تحكم كامل Full Converter للتحكم فى سرعة محرك تيار مستمر يعمل فى الربع الأول والثانى .



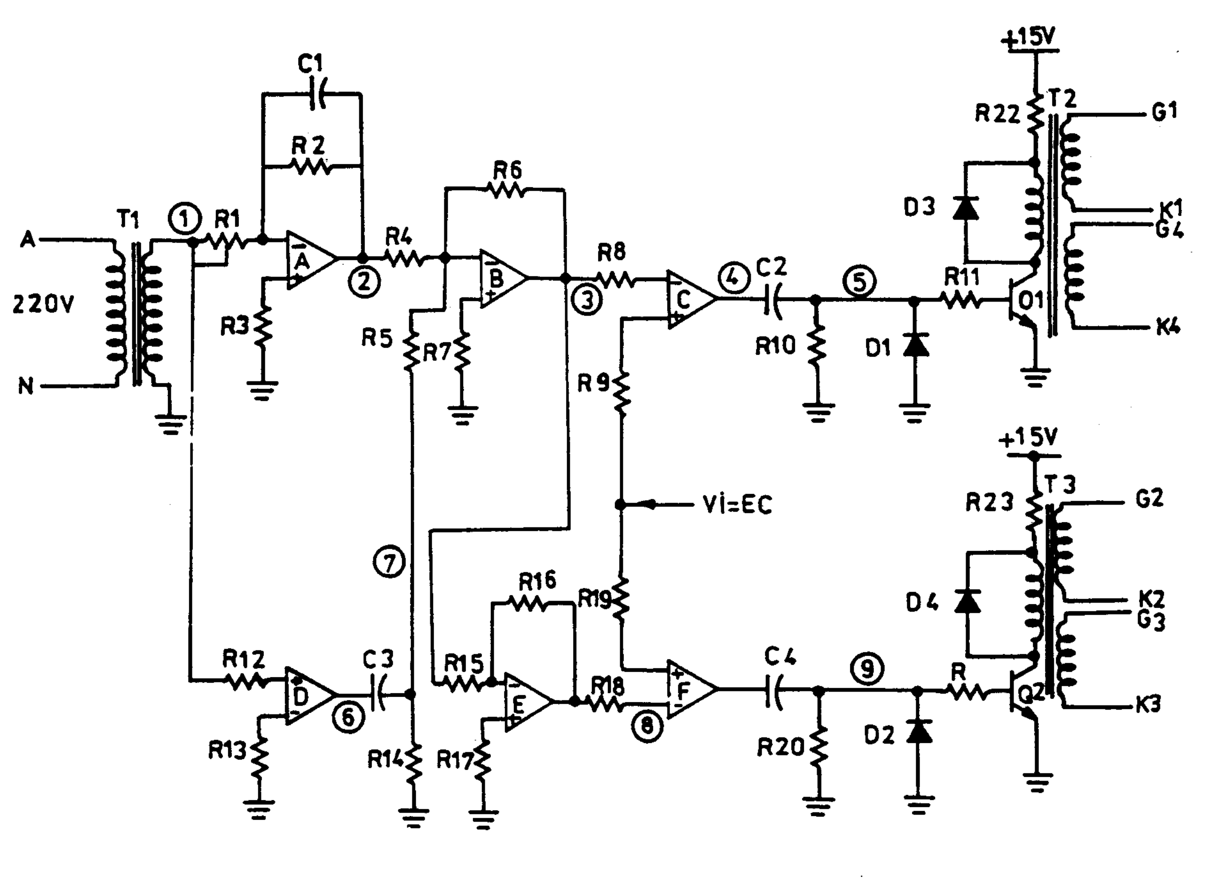
الشكل (٤-١٦)

والجدير بالذكر أن SCR_1- SCR_4 يختار حسب قدرة المحرك، علماً بأن الدائرة المؤلفة من المقاومة R والمكثف C تعمل كمصيدة Snubber تمنع الاشتعال الذاتى للثايرستورات نتيجة لقفزات جهد المصدر. والشكل (٤-١٧) يعرض دائرة الإشعال المستخدمة لهذا المحول بنظام التحكم (Cosine) فى زاوية الإشعال.

عناصر دائرة الإشعال :

العنصر	النوع	القيمة
R_1	مقاومة متغيرة	100K Ω
R_2	مقاومة كربونية	2MΩ
R_3	مقاومة كربونية	100K Ω
R_4	مقاومة كربونية	10 kΩ
R_5	مقاومة كربونية	10 kΩ
R_6	مقاومة كربونية	10 kΩ
R_7	مقاومة كربونية	3.3 kΩ
R_8	مقاومة كربونية	10 kΩ
R_9	مقاومة كربونية	10 kΩ
R_{10}	مقاومة كربونية	2.7 KΩ
R_{11}	مقاومة كربونية	6.8 kΩ
R_{12}	مقاومة كربونية	10 kΩ
R_{13}	مقاومة كربونية	10K Ω
R_{14}	مقاومة كربونية	1kΩ
R_{15}	مقاومة كربونية	10 kΩ
R_{16}	مقاومة كربونية	10 kΩ
R_{17}	مقاومة كربونية	4.7 kΩ
R_{18}	مقاومة كربونية	10 kΩ
R_{19}	مقاومة كربونية	10 kΩ
R_{20}	مقاومة كربونية	2.7 kΩ
R_{21}	مقاومة كربونية	6.8 kΩ
R_{22}	مقاومة كربونية	2W,2 Ω
R_{23}	مقاومة كربونية	2W,2 Ω

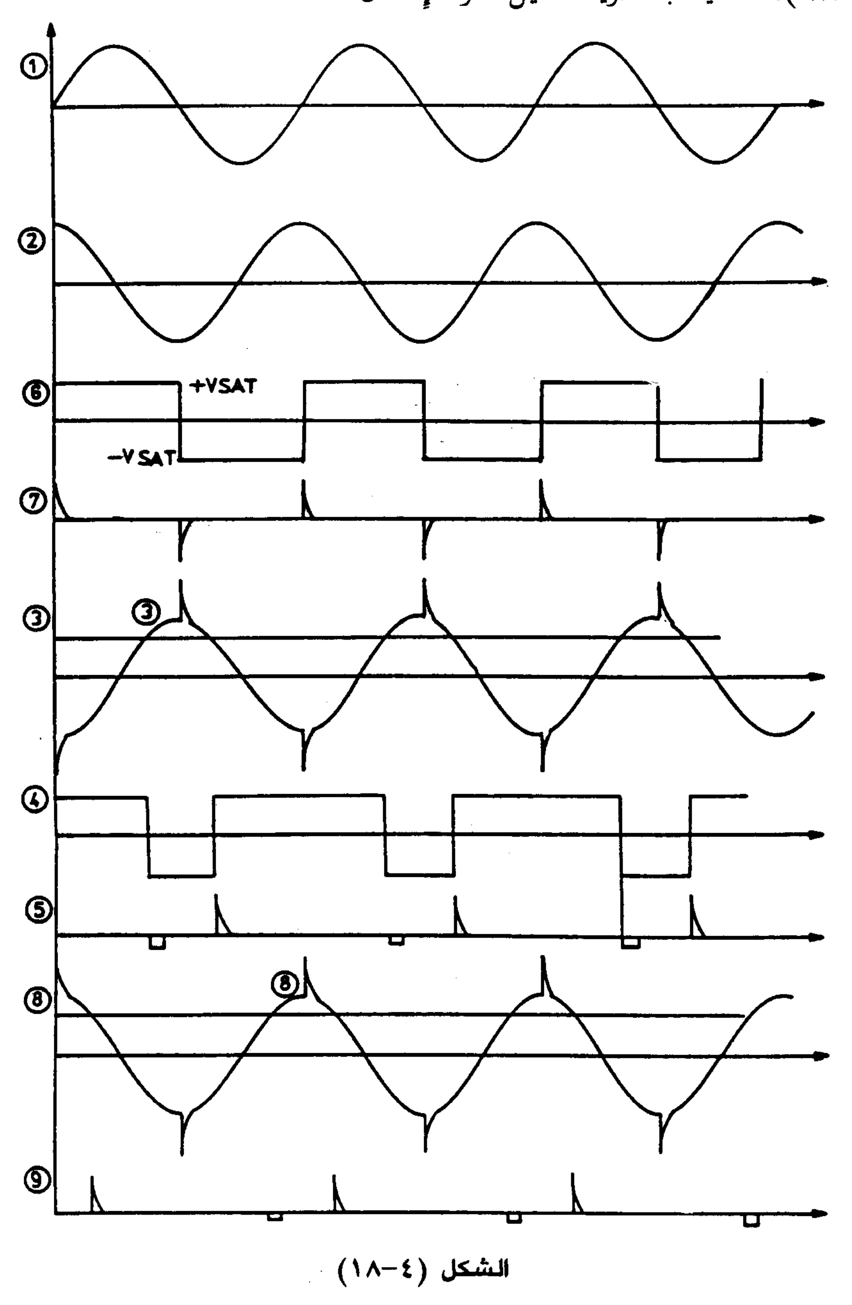
$C_1 - C_4$	مكثفات كيميائية سعتها 0.1 µF وجهدها 15V
$D_1 - D_4$	ثنائيات سليكونية طراز 1N4001
Q_1, Q_2	ترانزستورات NPN طراز BC108B
A -F	مكبرات عمليات 741
T_1	محول 220/6V سعته 15VA
T_2, T_3	محولات نبضات بنسبة 1:1


A
220V
N
T1
R1
C1
R2
R3
R4
R5
R6
R7
R8
R9
R10
R11
R12
R13
R14
R15
R16
R17
R18
R19
R20
R22
R23
R
C2
C3
C4
D1
D2
D3
D4
Q1
Q2
T2
T3
+15V
+15V
G1
K1
G4
K4
G2
K2
G3
K3
Vi=EC
A
B
C
D
E
F
1
2
3
4
5
6
7
8
9

الشكل (٤ - ١٧)

نظرية التشغيل :

يمكن الاستعانة بموجات الجهد عند النقاط المختلفة لدائرة الإشعال، والمبينة بالشكل (٤-١٨)، لاستيعاب نظرية تشغيل دائرة الإشعال .



الشكل (٤-١٨)

كما يمكن تقسيم دائرة الإشعال إلى إثنتى عشرة مرحلة كما يلى:

١- خفض جهد المصدر بواسطة المحول T_1 ليصبح جهد الثانوى 6V (الموجة 1).

٢- إجراء تكامل لخرج المحول T_1 بواسطة المكبر A (الموجة 2).

٣- مقارنة خرج المحول T_1 بالأرضى بواسطة المكبر D (الموجة 6).

٤- مفاضلة خرج المكبر D بواسطة الدائرة التفاضلية المؤلفة من R_{14},C_3 (الموجة7).

٥- جمع مع عكس خرج المكبر A وخرج الدائرة التفاضلية المؤلفة من R_{14},C_3 بواسطة المكبر B (الموجة 3).

٦- مقارنة خرج المكبر A بجهد التحكم E_C بواسطة المكبر C (الموجة 4).

٧- مفاضلة خرج المكبر C بواسطة الدائرة التفاضلية المؤلفة من C_2,R_{10} (الموجة 5).

٨- إزالة النبضات السالبة من خرج الدائرة التفاضلية المؤلفة من $C_2,\ R_{10}$ بواسطة D_1 الموجة 6، واستخدام هذه النبضات فى إشعال الثايرستور SCR_1,SCR_4 عبر محولات النبضات T_2 وكذلك الترانزستور Q_1 .

٩- عكس خرج الجامع العاكس(المكبر B) بواسطة المكبر E (الموجة 8).

١٠- مقارنة خرج العاكس E بجهد التحكم E_C بواسطة المكبر F (الموجة 9).

١١- مفاضلة خرج المقارن F بواسطة الدائرة التفاضلية المؤلفة من C_4,R_{20} الموجه 10.

١٢- إزالة النبضات السالبة من خرج الدائرة التفاضلية المؤلفة من $C_4\ ,\ R_{20}$ بواسطة الثنائى D_2 (الموجه11) واستخدام هذه النبضات فى إشعال الثايرستورات SCR_2,SCR_3 عبر محول النبضات T_3 والترانزستور Q_2 .

والجدير بالذكر أنه يمكن استخدام أحد المنظمات المشروحة فى الدائرة رقم 1 للحصول على حلقة مغلقة بنفس الطريقة المتبعة فى الدائرة رقم 1 .

ملاحظات:

١- يجب ضبط أقصى سعة للموجة الجيبية الخارجة من المكبر A بواسطة المقاومة المتغيرة R_1، بحيث تصبح مساوية للقيمة العظمى لجهد التحكم E_C القادم من المنظم فى حالة استخدام حلقة مغلقة، أو يساوى القيمة العظمى لجهد المرجع فى

حالة استخدام حلقة مفتوحة.

٢- يجب تساوى ثابت مولد التاكو (النسبة بين سرعة التاكو وجهد خرجه) مع النسبة بين سرعة المحرك الرئيسى وجهد المرجع المقابل.

٣- يعمل الثنائى D_3 على حماية الترانزستور Q_1 وكذلك يعمل الثنائى D_4 على حماية الترانزستور Q_2 من القوة الدافعة الكهربية المتولدة من محولات النبضات T_2,T_3 عند فصل هذه الترانزستورات.

٤- يتم جمع نبضات المفاضل المؤلف من C_3,R_{14} مع خرج المكامل A من أجل الوصول لاستقرار النظام (المحرك) عندما تكون زوايا الإشعال مساوية 180^0 أو 0؛ وذلك لأن مكبرات العمليات المستخدمة ليست مثالية بمعنى أنه من المحتمل أن يصبح جهد المرجع مساوياً القيمة العظمى لخرج أحد المكبرين B, E دون الآخر عند زوايا إشعال تساوى 180^0 أو 0، ويؤدى ذلك وصول نبضات الإشعال لزوج من الثايرستورات وانقطاعها عن الزوج الآخر، وهذا يؤدى إلى حدوث اهتزاز عنيف فى المحرك نتيجة لعدم اتزانه.

٥- عندما تكون زاوية الإشعال α أصغر من 90° يدور المحرك فى اتجاه عقارب الساعة فى حين يفرمل المحرك.

الدائرة رقم 4 :

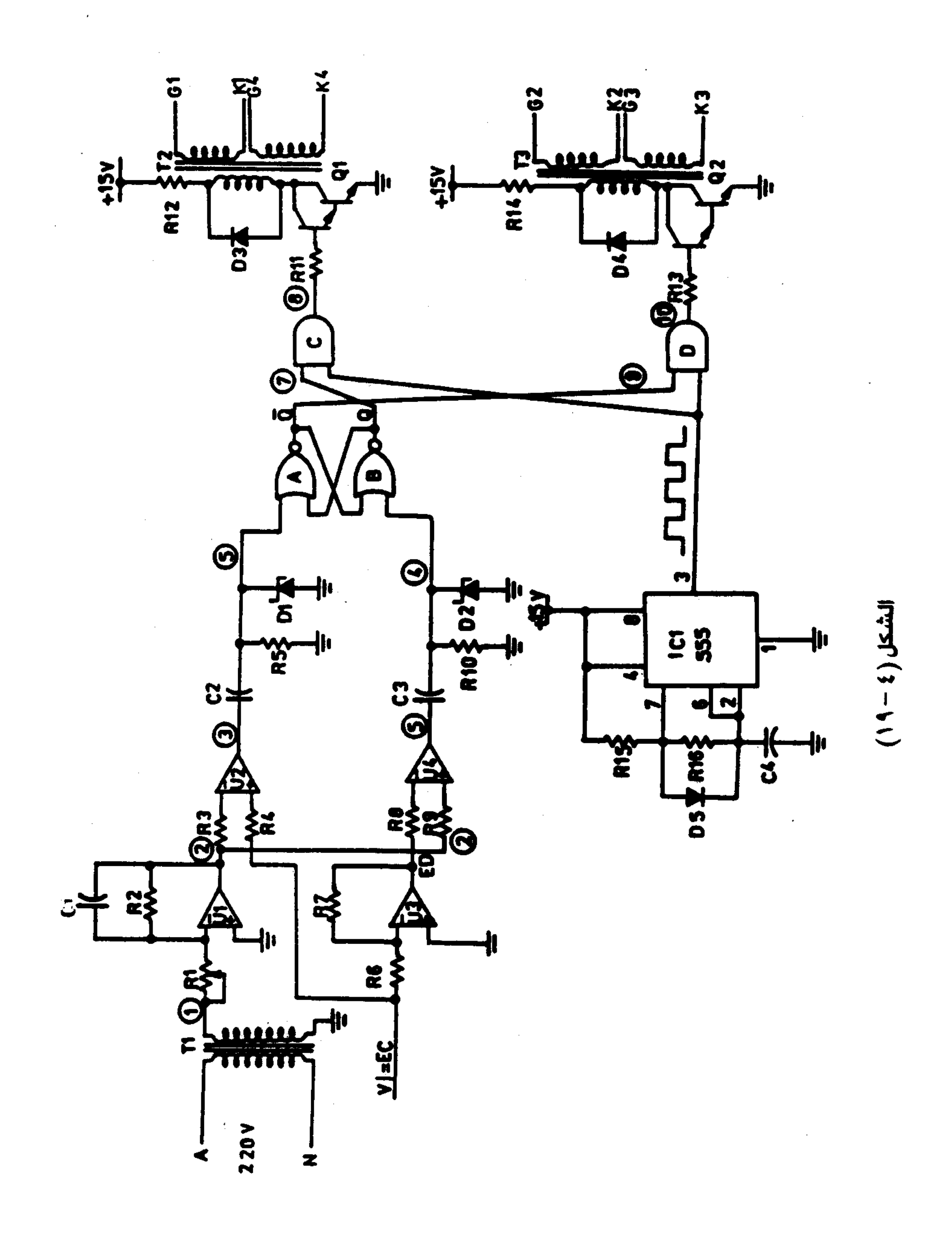
الشكل (٤-١٩) يعرض دائرة إشعال أخرى لمحول التحكم الكامل، المبين بالشكل (٤-١٦) بنظام التحكم Cosine فى زاوية الإشعال α.

عناصر دائرة الإشعال:

R_1	مقاومة متغيرة	100KΩ	R_5	مقاومة كربونية	47 KΩ
R_2	مقاومة كربونية	10.2 MΩ	R_6	مقاومة كربونية	10 kΩ
R_3	مقاومة كربونية	10 KΩ	R_7	مقاومة كربونية	10 kΩ
R_4	مقاومة كربونية	10 kΩ	R_8	مقاومة كربونية	10 kΩ

R_9	مقاومة كربونية	10 kΩ	R_{13}	مقاومة كربونية	5 kΩ
R_{10}	مقاومة كربونية	47 kΩ	R_{14}	مقاومة كربونية	100 Ω
R_{11}	مقاومة كربونية	5 kΩ	R_{15}	مقاومة كربونية	66 kΩ
R_{12}	مقاومة كربونية	100 Ω	R_{16}	مقاومة كربونية	80 kΩ

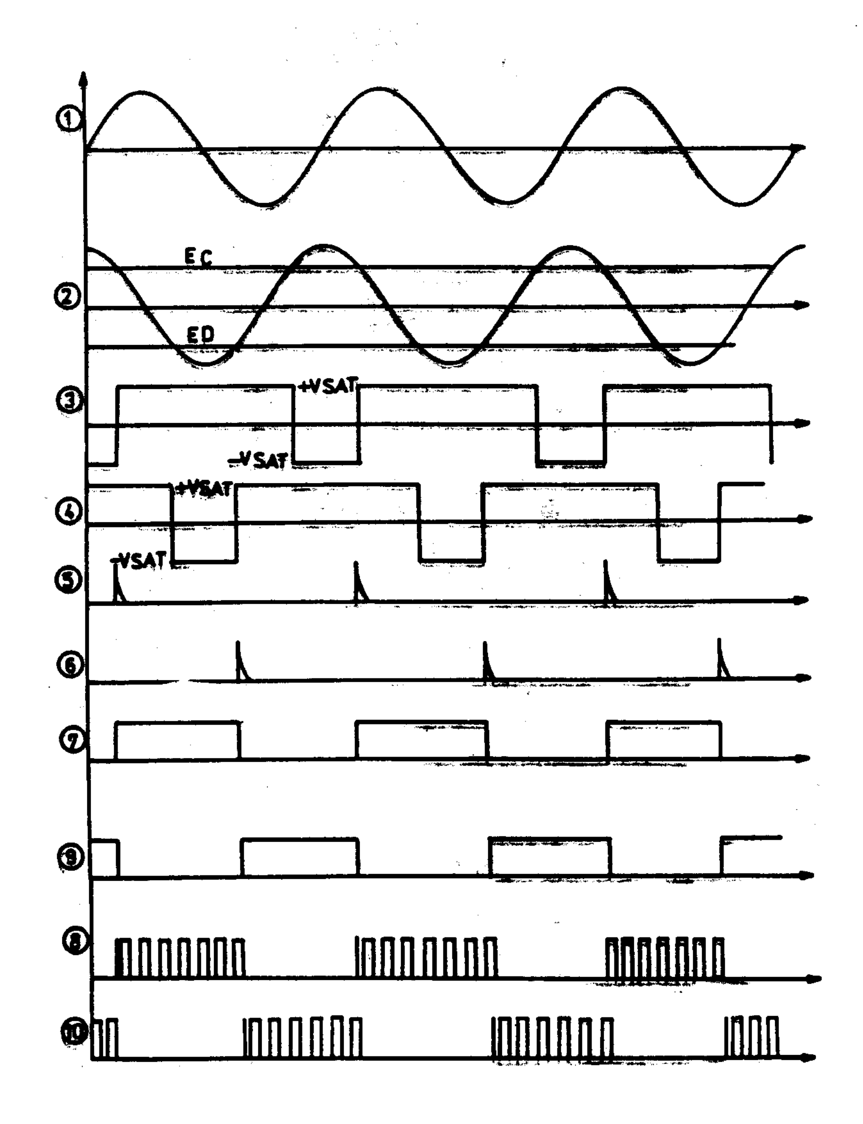
C_1, C_2, C_3	مكثفات كيميائية سعتها 0.1µf وجهدها 16V
C_4	مكثف كيميائى سعته 0.0 1µf وجهده 16V
D_1, D_2	ثنائيات زينر طراز 1N 4732
D_3, E_4	ثنائيات سليكونية طراز 1N 4001
Q_1, Q_2	ترانزستورات دار لنجتون NPN طراز TIP112 .
U_1 - U_4	مكبرات عمليات 741
A, B	دائرة متكاملة تحتوى على أربع بوابات NOR طراز 4001
C,D	دائرة متكاملة تحتوى على أربع بوابات OR طراز 4071
T_1	محول خفض 220/6V سعته 15VA
T_2, T_3	محول نبضات بنسبة تحويل 1:1 .


A
220V
N
T1
R1
C1
R2
U1
R6
R7
U3
V|=EC
ED
R3
R4
R8
R9
U2
U4
C2
C3
R5
R10
D1
D2
+5V
IC1
555
R15
R16
C4
D5
A
B
Q
Q̄
C
D
R11
R13
Q1
Q2
D3
D4
R12
R14
+15V
+15V
T2
T3
G1
K1
G2
K4
G2
K2
G3
K3

الشكل (٤ - ١٩)

نظرية التشغيل :

يمكن الاستعانة بموجات الجهد عند النقاط المختلفة لدائرة الإشعال، والمبينة بالشكل (٤-٢٠)، لاستيعاب نظرية دائرة الإشعال .



الشكل (٤-٢٠)

ويمكن تقسيم دائرة الإشعال ثمانية مراحل وهى كما يلى:

١- خفض جهد المصدر المتردد من 220V إلى 6V بواسطة المحول T_1 (الموجة1).

٢- إجراء تكامل مخرج المحول T_1 بواسطة المكبر U_1 (الموجة 2).

٣- مقارنة خرج المكامل U_1 مع جهد التحكم E_C بواسطة المكبر U_2 (الموجة 3).

٤ - مفاضلة خرج المكبر U_2 بواسطة الدائرة التفاضلية المؤلفة من C_2,R_5، وإزالة المركبة السالبة وتحديد قيمتها بواسطة ثنائى الزينر D_1 (الموجة 4).

٥- عكس جهد التحكم E_C بواسطة المكبر U_3 ليصبح مساوياً $E_D = -E_C$.

٦- مقارنة جهد التحكم المعكوس $-E_C$ مع خرج المكامل U_1 بواسطة المكبر U_4 (الموجة 5).

٧- مفاضلة خرج المقارن U_4 بواسطة الدائرة التفاضلية المؤلفة من C_3,R_{13}، وإزالة المركبة السالبة وتحديد جهدها بواسطة ثنائى الزينر D_2 (الموجة 6).

٨- استخدام النبضات الموجودة عند النقاط 6 و4 فى التحكم فى القلاب RS المؤلف من البواتين A, B، فعندما يكون خرج الدائرة التفاضلية المؤلفة من R_5, C_2 تصبح حالة المخرج Q للقلاب عالية، فتمر الذبذبات المتولدة من المذبذب اللامستقر المؤلف من المؤقت 555 والتى ترددها يساوى:

$$F = \frac{1.46}{C_4\,(R_{15} + R_{16})} = 1000\ HZ$$

ومعامل دورة الخدمة لهذه الذبذبات DUTY Cycle يساوى:

$$DC\ \% = \frac{R_{15}}{R_{15} + R_{16}} = 0.41$$

لتصل إلى قاعدة الترانزستور Q_1 ومن ثم تنتقل هذه النبضات إلى الملف الثانوى للمحول T_2 فيشتعل كلاً من SCR_1, SCR_4 (الموجة 7) و (الموجة 8) .

ويتكرر نفس الكلام السابق عندما يكون خرج الدائرة التفاضلية المؤلفة من C_3, R_{13} عاليا، حيث يصبح $\bar{Q}$ للقلاب المؤلف من البوابتين A, B عالياً أيضاً،فتمر النبضات المتولدة من المذبذب اللا مستقر المؤلف من المؤقت 555 عبر البوابة D لقاعدة الترانزستور Q_2، ومن ثم تنتقل هذه النبضات إلى الملف الثانوى لمحول النبضات T_3 فيشتعل كل من SCR_2, SCR_3 ، وهذا موضح (بالموجة 9) و (الموجة 10) .

وتمتاز هذه الدائرة بعدم حدوث فشل فى إشعال الثايرستورات، حيث يحدث أحياناً فشل فى إشعال الثايرستورات مع الأحمال الديناميكية مثل المحركات الكهربية، ولكن فى هذه الدائرة يتم قدح الثايرستورات بسلسلة من النبضات المتتالية حتى يتحقق الإشعال .

ملاحظات :

١- يتم ضبط أقصى سعة للموجة الجيبية الخارجة من المكبر U_1 بواسطة R_1, ، بحيث تصبح القيمة العظمى لها مساوية للقيمة العظمى لجهد التحكم .

٢- عند زاوية إشعال α أصغر من 90^0 يدور المحرك جهة عقارب الساعة، وعندما تكون زاوية الإشعال α أكبر من 90^0 يتفرمل المحرك لانعكاس قطبية الجهد على أطرافه مع استمرار التيار فى نفس الاتجاه .

٣- يمكن استخدام أحد المنظمات المشروحة فى الدائرة رقم 1 للحصول على حلقة مغلقة بنفس الطريقة المتبعة فى الدائرة رقم1 .

الدائرة رقم 5 :

الشكل (٤-٢١) يعرض دائرة إشعال أخرى لمحول التحكم الكامل، المبين بالشكل (٤-١٦) ، بنظام التحكم Cosine فى زاوية الإشعالα .

عناصر دائرة الإشعال :

العنصر	النوع	القيمة
R_1	مقاومة متغيرة	100 kΩ
R_2	مقاومة كربونية	10 kΩ
R_3	مقاومة كربونية	100 kΩ
R_4	مجزئ جهد	10 kΩ
R_5	مقاومة كربونية	10 kΩ
R_6	مقاومة كربونية	10 kΩ
R_7	مقاومة كربونية	10 kΩ
R_8	مقاومة كربونية	2.7kΩ
R_9	مقاومة كربونية	6.8kΩ
R_{10}	مقاومة كربونية	2W, 2Ω
R_{11}	مقاومة كربونية	1 kΩ
R_{12}	مقاومة كربونية	1kΩ
R_{13}	مقاومة كربونية	2W, 2Ω
R_{14}	مقاومة صغيرة	100 kΩ
R_{15}	مقاومة كربونية	10 kΩ
R_{16}	مقاومة كربونية	10 kΩ
R_{17}	مجزئ جهد	10 kΩ
R_{18}	مقاومة كربونية	10 kΩ
R_{19}	مقاومة كربونية	10 kΩ
R_{20}	مقاومة كربونية	10 kΩ
R_{21}	مقاومة كربونية	2.7kΩ
R_{22}	مقاومة كربونية	6.8kΩ

$C_1 - C_4$ مكثفات كيميائية سعتها 0.1μf وجهدها 20V

$D_1 - D_4$ ثنائيات سليكونية طراز 1N4001

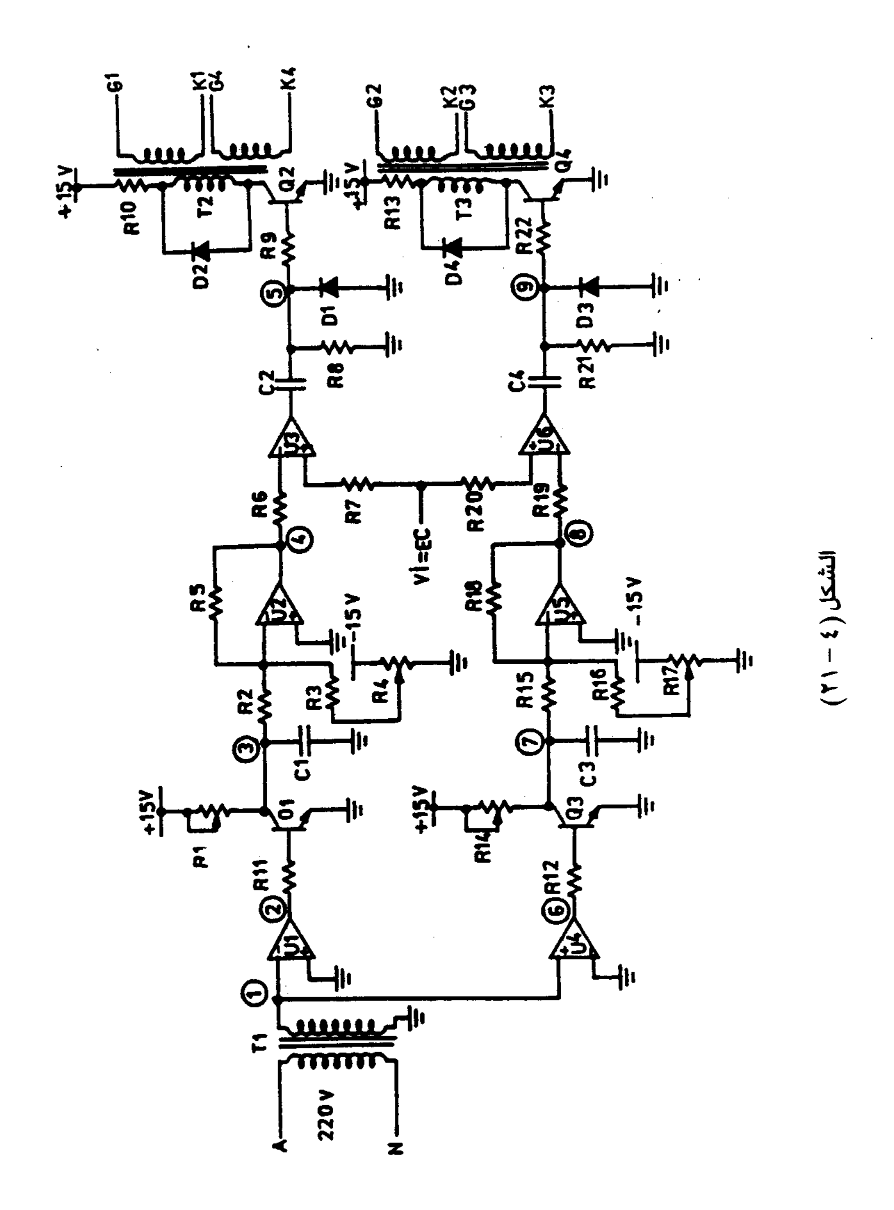
Q_1, Q_3 ترانزستور NPN طراز 2N 3904

Q_2, Q_4 ترانزستور NPN طراز BC108B

$U_1 - U_6$ مكبرات عمليات طراز 741

T_1 محول خفض 220 / 6V وسعته 15VA

T_2, T_3 محولات نبضات بملفين ثانويين بنسبة تحويل 1:1 .

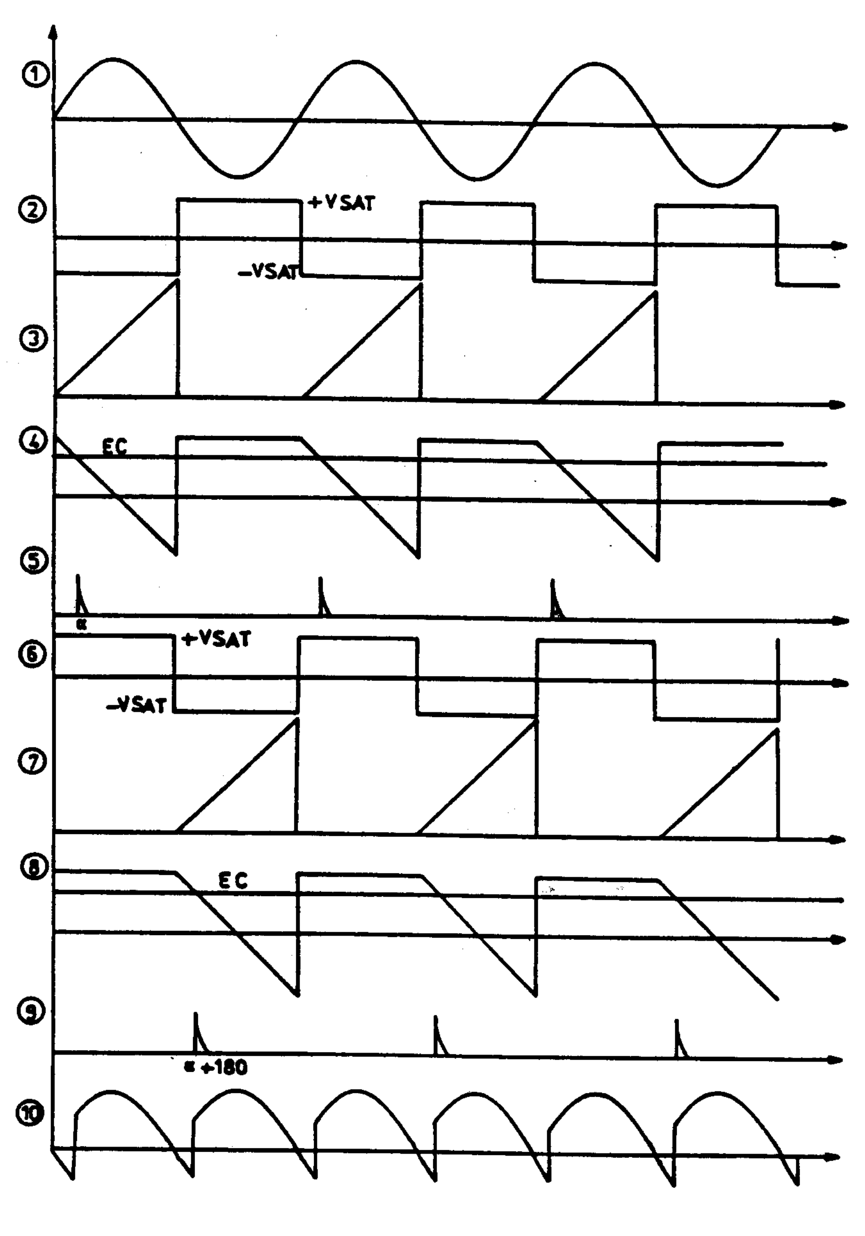


A
220V
N
T1
U1
U4
R11
R12
Q1
Q3
P1
R14
+15V
C1
C3
R2
R3
R4
R5
U2
-15V
R15
R16
R17
R18
U5
R6
R7
R19
R20
V1=EC
U3
U6
C2
C4
R8
R21
D1
D3
R9
R22
D2
D4
T2
T3
Q2
Q4
R10
R13
+15 V
G1
K1
G4
K4
G2
K2
G3
K3

الشكل (٤ - ٢١)

نظرية التشغيل:

حتى يسهل علينا استيعاب نظرية التشغيل سنستعين بموجات الجهد عند النقاط المختلفة لدائرة الإشعال، والموضحة بالشكل (٤ – ٢٢).



الشكل (٤ – ٢٢)

ويمكن تقسيم دائرة الإشعال إلى إحدى عشرة مرحلة كما يلى :

١ – تخفيض جهد المصدر بواسطة T_1 (الموجة 1) .

٢ – مقارنة جهد الثانوى للمحول T_1 بالأرضى بواسطة المكبر U_1 (الموجة 2) .

٣ – إيقاف مولد النبضات المثلثة Ramp والذى يتألف من C_1 وR_1 أثناء النصف السالب للموجة 1 بواسطة الترانزستور Q_1 لتحوله لحالة الوصل، وبالتالى يختفى خرج مولد النبضات أثناء نصف الموجة السالب (الموجه 3) .

٤ – إضافة مركبة سالبة لخرج مولد أسنان المنشار المؤلف من C_1 وR_1 ، ثم عكس المحصلة بواسطة الجامع العاكس U_2 (الموجة 4) .

٥ – مقارنة خرج الجامع العاكس U_2 بجهد التحكم E_C بواسطة المقارن U_3، ثم مفاضلة خرج هذا المقارن بواسطة الدائرة التفاضلية المؤلفة من R_8 وC_2 ثم إزالة المركبة السالبة بواسطة الثنائى D_1 (الموجة 5) .

٦ – انتقال هذه النبضات إلى كل من SCR_4 وSCR_1 من خلال Q_2 وT_2 .

٧ – مقارنة جهد ثانوى المحول T_1 بالأرضى بواسطة المكبر U_4 (الموجة 6) .

٨ – إيقاف مولد النبضات المثلثة Ramp والذى يتألف من R_{14} و C_3 أثناء النصف الموجة للموجه 1 بواسطة الترانزستور Q_3 لتحوله لحالة الوصل وبالتالى يختفى خرج مولد النبضات أثناء نصف الموجة الموجب (الموجة 7) .

٩ – إضافة مركبة سالبة لخرج مولد النبضات المثلثة Ramp المؤلف من R_{14} وC_3، ثم عكس المحصلة بواسطة الجامع العاكس المؤلف من المكبر U_5 (الموجة 8) .

١٠ - مقارنة خرج المقارن U_5 بجهد التحكم E_C بواسطة المقارن المؤلف من المكبر U_6، ثم مفاضلة خرج هذا المقارن بواسطة الدائرة التفاضلية المؤلفة من R_{21} وC_4، ثم إزالة المركبة السالبة بواسطة الثنائى D_3 (الموجة 9).

١١ - انتقال هذه النبضات إلى كل من SCR_3 و SCR_2 من خلال Q_4 وT_3.

ملاحظات:

١ - يمكن ضبط أقصى سعة للموجات المثلثة Ramp بواسطة المقاومات R_{14} وR_1، بحيث تتساوى القيمة العظمى لها مع القيمة العظمى لجهد التحكم E_C.

٢ - يجب تساوى ثابت مولد التاكو (النسبة بين سرعة التاكو وجهد خرجه) مع النسبة بين سرعة المحرك الرئيسى وجهد المرجع المقابل.

٣ - تعمل الثنائيات D_2, D_4 على حماية الترانزستورات Q_2 , Q_4 من القوة الدافعة الكهربية العكسية المتولدة من الملف الابتدائى للمحولات T_2, T_3 عند تحول هذه الترانزستورات لحالة القطع.

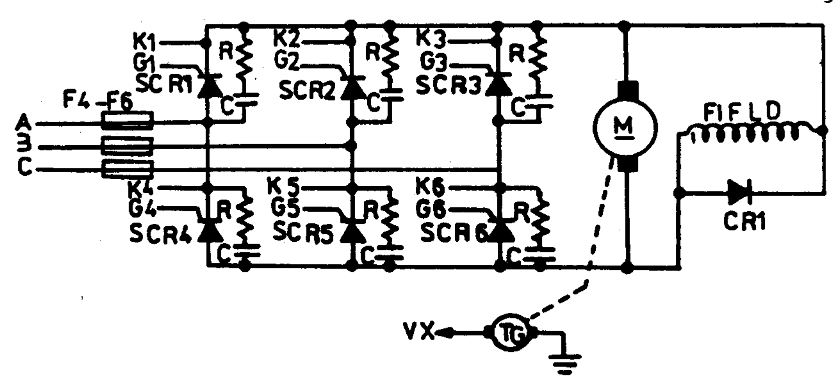
٤ - تكون زاوية الإشعال α أصغر من 90^0 عندما يكون جهد التحكم E_C موجباً، ويدور المحرك فى اتجاه عقارب الساعة، وتكون موجة الجهد على أطراف المحرك (الموجة 10)، فى حين أن زاوية الإشعال تكون أكبر من 90^0 عندما يكون جهد التحكم E_C بالسالب، وبالتالى يصبح الجهد على أطراف المحرك سالباً ويحدث فرملة للمحرك.

٥ - يمكن استخدام أحد المنظمات المشروحة فى الدائرة رقم 1 للحصول على حلقة مغلقة بنفس الطريقة المتبعة فى الدائرة رقم 1.

٤ / ٣- الدوائر العملية للتحكم فى محولات التيار المستمر الثلاثية الأوجه:

الدائرة رقم 1:

الشكل (٤-٢٣) يعرض دائرة القدرة لمحول كامل ثلاثة أوجه، علمًا بأن الثايرستورات SCR_1-SCR_6 تختار حسب قدرة المحرك، وكذلك يختار كل من المصهرات F_4 - F_6 والثنائى CR_1 حسب تيار المحرك. ويثبت فى عمو د المحرك مولد تاكو.



الشكل (٤-٢٣)

أما الشكل (٤-٢٤) فيعرض دائرة الاشعال متبعًا نظام Cosine فى الإشعال.

والجدير بالذكر أن دائرة إشعال الوجه A تماثل دائرة إشعال الوجه B والوجه C.

ولقد استخدمت ثلاثة محولات أحادية الوجه، كل محول له نسبة تحويل 220/6V، ويتم توصيل الملف الابتدائى للمحولات الثلاثة معًا على شكل Δ ، فى حين يتم توصيل الملف الثانوى للمحولات الثلاثة على شكل Y، وبذلك يمكن الحصول على موجات جهد فى الجانب الثانوى للمحولات جهده 6V مع وجود إزاحة بين كل وجه والآخر مساوية 120°.

عناصر دائرة الإشعال:

R_1	ثلاث مقاومات متغيرة	100kΩ
R_2	ثلاث مقاومات كربونية	2MΩ
R_3	ثلاث مقاومات متغيرة	100k
R_4	ثلاث مقاومات كربونية	10k

R_5 ثلاث مقاومات كربونية $2.7k\Omega$ R_7 ثلاث مقاومات كربونية $2W, 2\Omega$

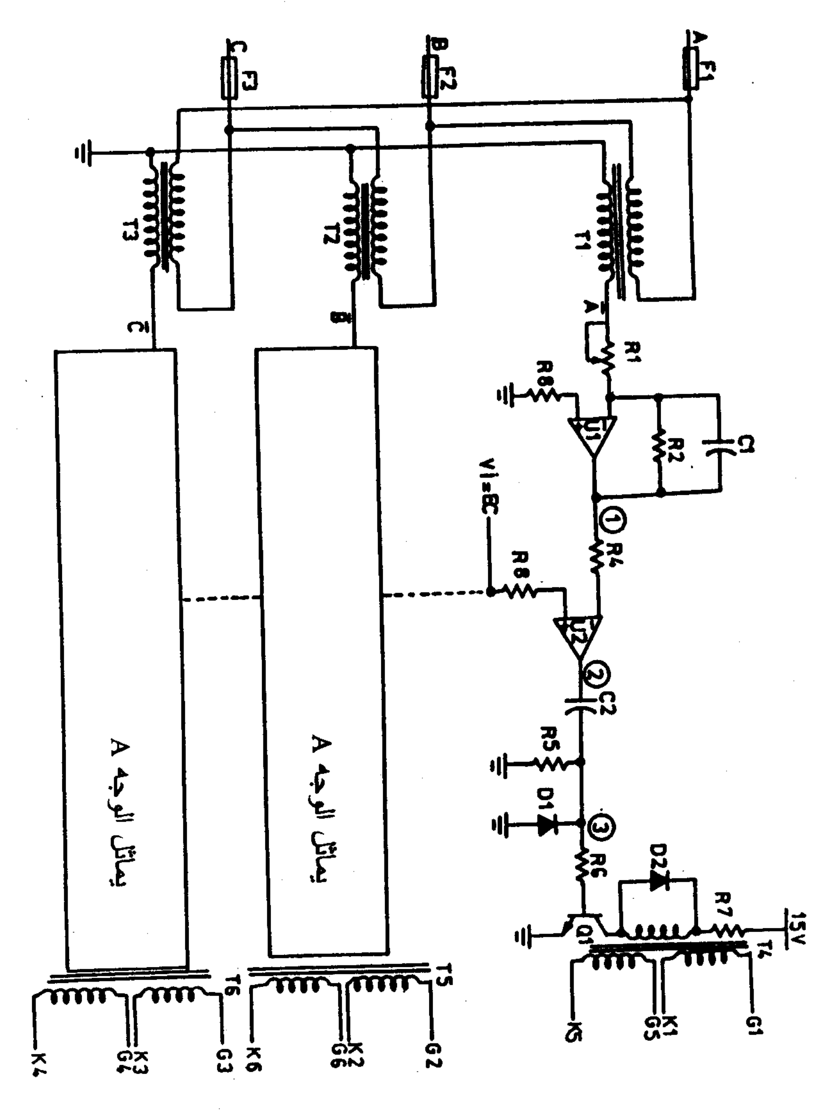
R_6 ثلاث مقاومات كربونية $6.8k\Omega$ R_8 ثلاث مقاومات كربونية $10k\Omega$

C_1, C_2 ست مكثفات كيميائية $0.1\mu f$ وجهدها 25V

D_1, D_2 ست ثنائيات سليكونية طراز 1N4004

Q_1 ثلاث ترانزستورات NPN طراز BC108B

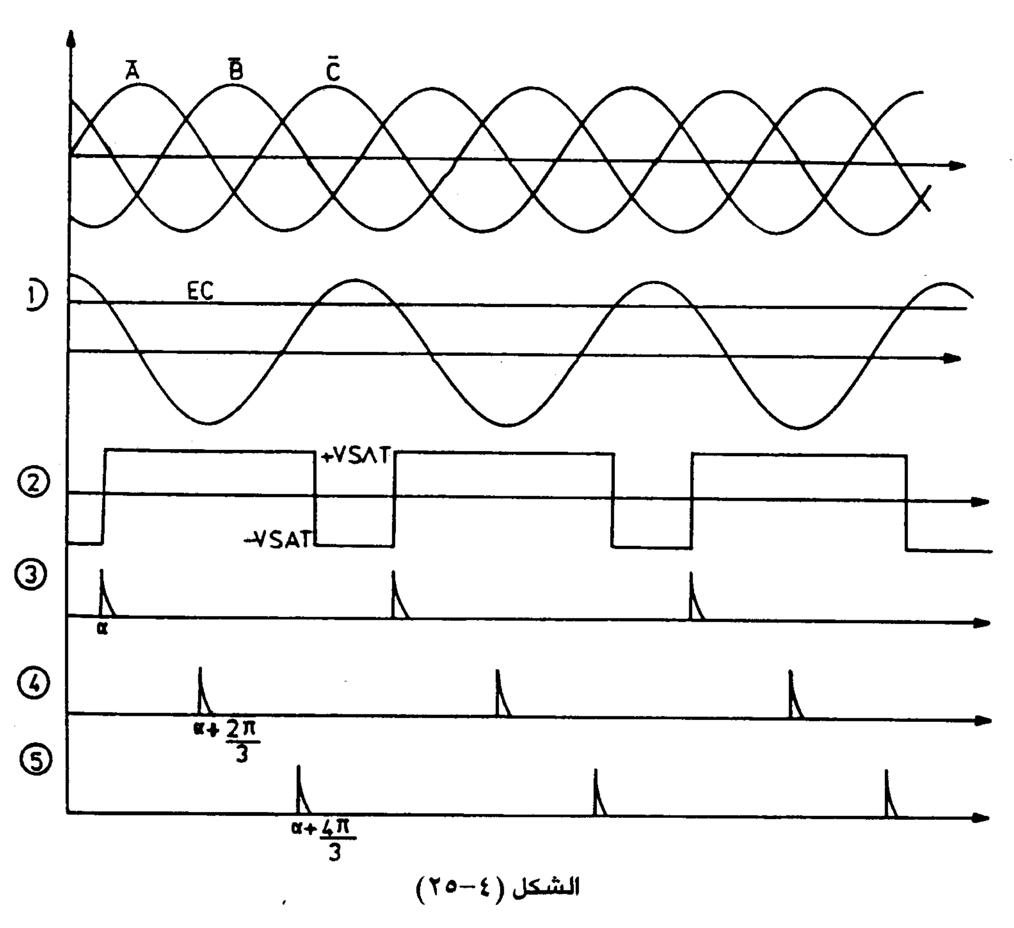
U_1, U_1 ست مكبرات عمليات 741



الشكل (٤ - ٢٤)

نظرية التشغيل :

يمكن الاستعانة بنبضات الجهد عند النقاط المختلفة لدائرة الإشعال والمبينة بالشكل (٤-٢٥) لاستيعاب نظرية التشغيل .



الشكل (٤-٢٥)

يمكن تقسيم أداء دائرة الإشعال إلى أربعة مراحل لكل وجه من الأوجه الثلاثة ، كما يلى :

١- خفض جهد المصدر إلى 6V بواسطة المحولات T_1, T_2, T_3 (الموجة $\bar{A}$, $\bar{B}$, $\bar{C}$) .

٢- إجراء تكامل لموجه جهد الملف الثانوى للوجه A بواسطة دائرة المكامل المؤلفة من مكبر العمليات U_1 (الموجة 1) .

٣- مقارنة خرج المكبر U_2 مع جهد التحكم E_C بواسطة المقارن المؤلف من المكبر U_2 (الموجة 2).

٤- مفاضلة خرج المكبر U_2 بواسطة الدائرة التفاضلية المؤلفة من C_2 , R_5، ثم إزالة المركبة السالبة بواسطة الثنائى D_1 (الموجة 3)، وتنتقل هذه النبضات عبر الترانزستور Q_1ومحول النبضات T_4 لإشعال الثايرستورات SCR_1 , SCR_5 .

ونفس هذه المراحل تتكرر للوجه B وللوجه C .

والجدير بالذكر أن نبضات إشعال ثايرستورات الوجه B متأخرة °120 ($\frac{2\pi}{3}$) عن نبضات إشعال ثايرستورات الوجه A (الموجه 4).

وكذلك فإن نبضات إشعال ثايرستورات الوجه C متأخرة °120 ($\frac{2\pi}{3}$) عن نبضات إشعال ثايرستورات الوجه B (الموجة 5).

ويمكن عمل دائرة تحكم مغلقة للتحكم فى المحول الكامل الثلاثى الوجه الذى نحن بصدده باستخدام أحد المنظمات المشروحة فى الدائرة رقم 1 فى الفقرة (٤ / ٢) بنفس الطريقة المتبعة هناك .

ملاحظات :

١- يجب ضبط أقصى سعة للموجة الجيبية الخارجة من المكبر U_1 بواسطة المقاومة R_1، بحيث تصبح القيمة العظمى لها مساوية للقيمة العظمى لجهد التحكم E_C .

٢- يعمل الثنائى D_2 على حماية الترانزستور Q_1 من القوة الدافعة الكهربية المتولدة من الملف الابتدائى لمحول النبضات T_4 عند تحول Q_1 لحالة القطع.

٣- يجب تساوى ثابت مولد التاكو (النسبة بين سرعة التاكو وجهد خرجه) مع النسبة بين سرعة المحرك الرئيسى وجهد المرجع المقابل.

٤- إذا أردنا تنفيذ حلقة مفتوحة للتحكم فى سرعة محرك تيار مستمر باستخدام محول كامل 3ϕ يوصل طرف جهد التحكم E_C فى دائرة الإشعال مع مجزئ جهد $10k\Omega$ موصل مع مصدر جهد مزدوج $+15V, -15V$.

٥- عندما تكون جهد التحكم E_C موجبًا تصبح زاوية الإشعال α أصغر من °90، فيدور المحرك فى اتجاه عقارب الساعة، وعندما يكون جهد التحكم E_C سالبًا تصبح زاوية الإشعال أكبر من °90 ويفرمل المحرك.

الدائرة رقم 2 :

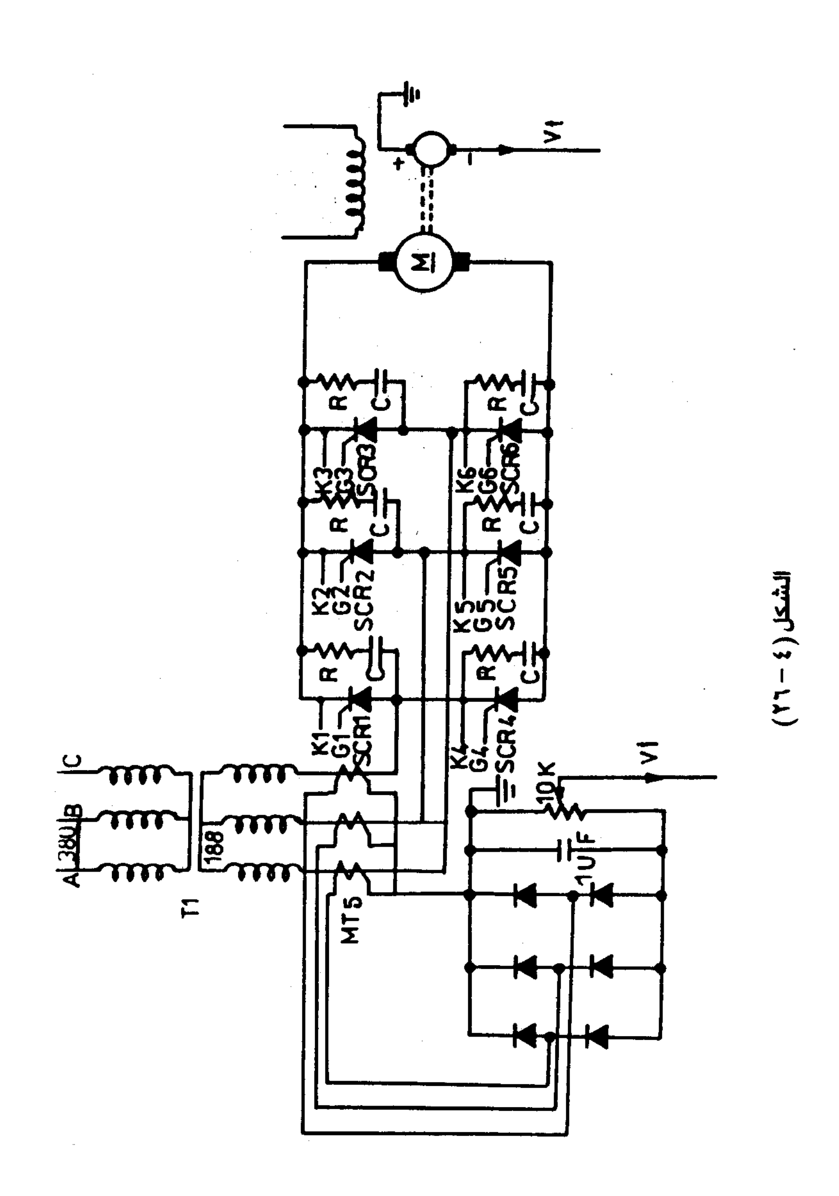
الشكل (٤-٢٦) يعرض دائرة القدرة لمحول كامل ثلاثى الأوجه لمحرك تيار مستمر له البيانات التالية:

تغذية منفصلة.

تيار عضو الاستنتاج الأقصى	20 A.
تيار البدء	55 A.
سرعة اللاحمل	1660 RPM.
السرعة عند الحمل الكامل	1470 RPM.

والجدير بالذكر أن جميع الثايرستورات المستخدمة طراز BTY91-800R، كما أن الدائرة المؤلفة من المقاومة R والتى تساوى 47Ω والمكثف C سعته 0.5µF تعمل كمصيدة Snubber تمنع الاشتعال الذاتى للثايرستورات نتيجة لقفزات جهد المصدر. أما محول القدرة T_1 فيقوم بتخفيض جهد الشبكة 380/188V، ويستخدم مولد تاكو لتحويل سرعة المحرك إلى جهد وله ثابت تحويل 25RPM/V.

وتستخدم محولات تيار نوع MI5، ويتميز هذا النوع بأن جهد الثانون لها 0.8V لكل أمبير فى الجانب الابتدائى، وتوصل محولات التيار معًا مع القنطرة الثلاثية الأوجه كما هو مبين بالشكل ذاته. ويوصل خرج القنطرة على مجزئ جهد 10kΩ ويحرك الذراع المنزلق لهذا المجزئ للحصول على نسبة تحويل مساوية 0.46V/A من المخرج V_i.



A
380V
B
C
T1
188
MT5
K1
G1
SCR1
K2
G2
SCR2
K3
G3
SCR3
K4
G4
SCR4
K5
G5
SCR5
K6
G6
SCR6
R
C
M
V1
10 K
1UF

الشكل (٤ - ٢٦)

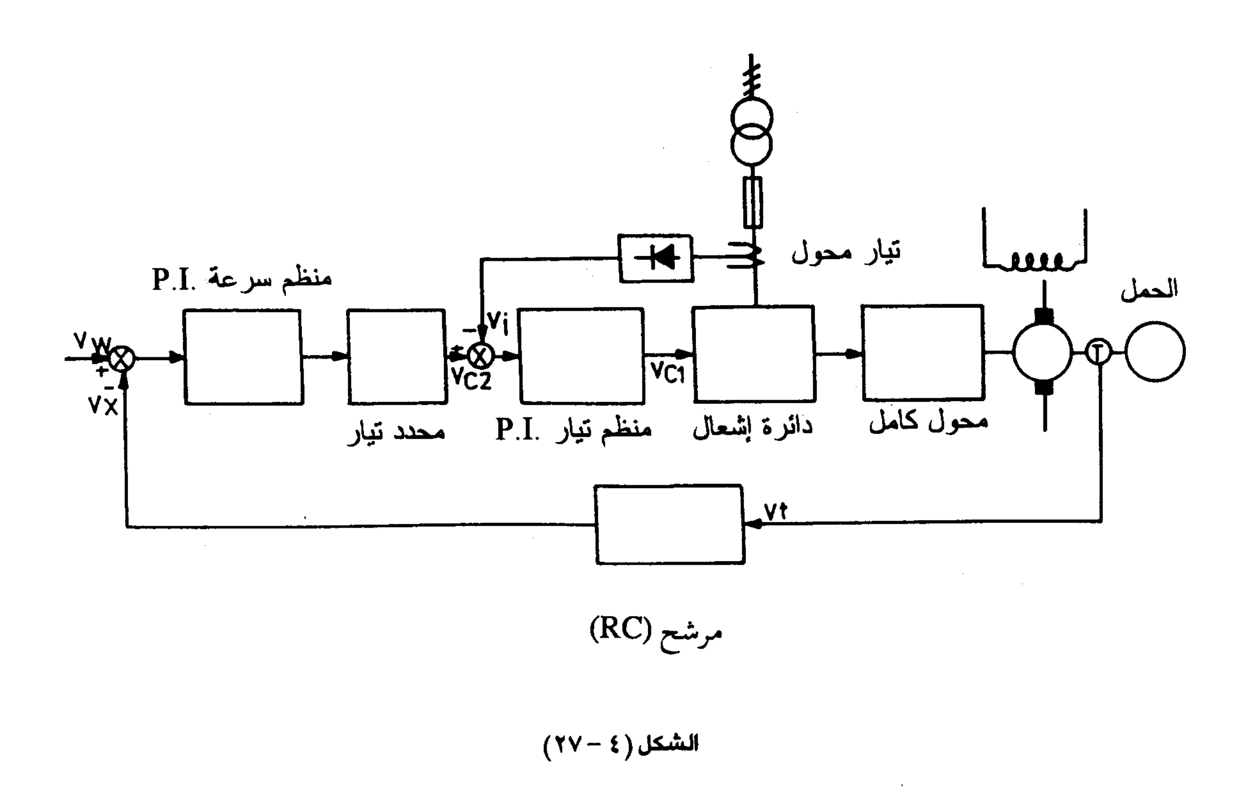
والشكل (٤-٢٧) يعرض المخطط الصندوقى لدائرة التحكم المغلقة المستخدمة للتحكم فى هذا المحرك.

ويلاحظ أننا استخدمنا دائرتين مغلقتين، الخارجية للتحكم فى سرعة المحرك، والداخلية للتحكم فى تيار المحرك، ويسمى هذا النظام بنظام تحديد التيار.

والجدير بالذكر أن خرج منظم السرعة التناسبى التكاملى PI يجب أن يحدد، حيث إن دخل منظم التيار التناسبى التكاملى PI هو الفرق بين خرج منظم السرعة والإشارة المرتدة والمقابلة للتيار.

ويعمل هذا النظام على تقليل جهد الدخل إذا تعدى تيار المحرك 20A، فعند بدء التشغيل يسمح هذا النظام بارتفاع تيار المحرك ليصبح 55A وذلك لحظة البدء، وبمجرد وصول إشارة مرتدة للتيار فإن هذا النظام سيقوم بتغيير زاوية الإشعال بما يمنع تعدى تيار المحرك 20A.

أى أن وصول التيار لقيمة أعلى من الحدود المسموح بها يكون فقط لحظة التغير المفاجئ، سواء فى الدخل أو فى الحمل، ولكن سرعان ما يعود التيار للحدود المسموح بها. وهذه هى الميزة التى نحصل عليها من هذه الدائرة.


منظم سرعة .P.I
محدد تيار
منظم تيار .P.I
دائرة إشعال
محول كامل
تيار محول
الحمل
Vw
Vx
Vc2
Vi
Vc1
Vt
T
مرشح (RC)

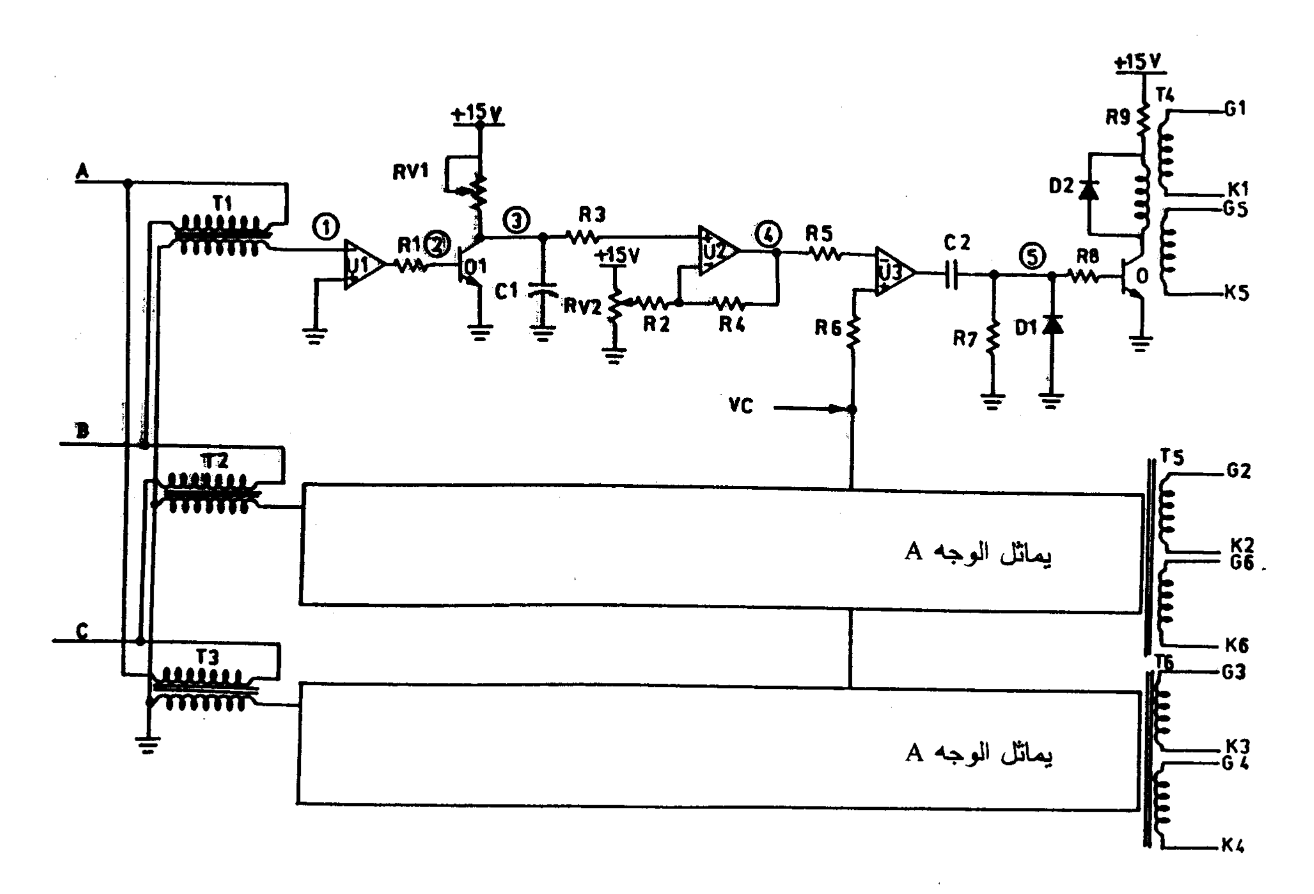
الشكل (٤ – ٢٧)

والشكل (٤-٢٨) يبين دائرة الإشعال المستخدمة فى التحكم فى محول التحكم الكامل Full Converter المبين بالشكل (٤-٢٦) .

عناصر دائرة الإشعال :

R_1	مقاومة كربونية 10kΩ	R_6	مقاومة كربونية 10kΩ
R_2	مقاومة كربونية 10kΩ	R_7	مقاومة كربونية 2.7kΩ
R_3	مقاومة كربونية 10kΩ	R_8	مقاومة كربونية 6.8kΩ
R_4	مقاومة كربونية 10kΩ	R_9	مقاومة كربونية 2Ω , 2W
R_5	مقاومة كربونية 10kΩ		
RV_1	مقاومة متغيرة 100kΩ		
RV_2	مجزئ جهد 10kΩ		
C_1,C_2	مكثفات كيميائية 0.1μf وجهدها 16V		
D_1	ثنائى زينر طراز 1N4732		
D_2	ثنائى سليكونى طراز 1N4000		
Q_1	ترانزستور NPN طراز BC108B		
U_1-U_3	مكبرات عمليات LM 741		
T_1	محول خفض 22016V وسعته 15VA		
T_4	محولات نبضات بملفين ثانويين بنسبة تحويل 1:1		

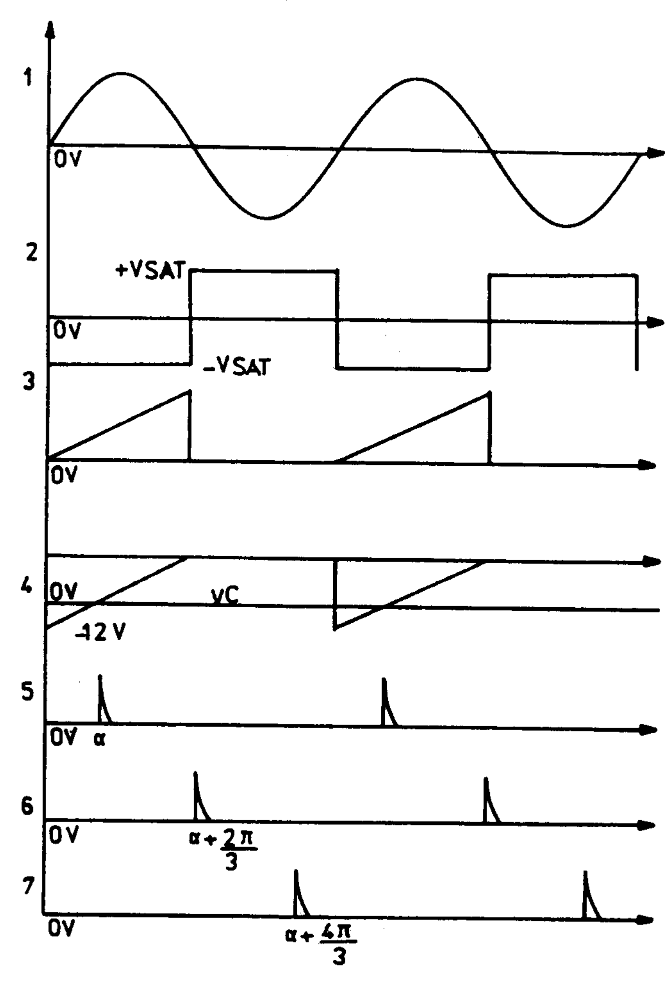
علماً بأن العناصر المطلوبة ثلاثة أضعاف هذه العناصر المدونة .


+15V
RV1
A
T1
R1
Q1
C1
R3
+15V
RV2
R2
U1
U2
R4
R5
U3
R6
VC
C2
R7
D1
R8
Q
+15V
T4
R9
D2
G1
K1
G5
K5
B
T2
C
T3
T5
G2
K2
G6
K6
T6
G3
K3
G4
K4
يماثل الوجه A
يماثل الوجه A

الشكل (٤ - ٢٨)

نظرية التشغيل :

يمكن الاستعانة بموجات الجهد عند النقاط المختلفة لدائرة الإشعال والمبينة بالشكل (٤-٢٩)



الشكل (٤-٢٩)

ويمكن تقسيم أداء هذه الدائرة إلى خمسة مراحل، كما يلي :

١- تخفيض جهد المصدر بواسطة المحول T_1 (الموجة 1).

٢- مقارنة جهد الثانوى للمحول T_1 بالأرض بواسطة المكبر U_1 (الموجة 2).

٣- يتحكم خرج المكبر U_1 فى خرج مولد النبضات المثلثة Ramp المؤلف من RV_1, C_1 فيعمل Q_1 فى خلال نصف الموجة الثانى والرابع والسادس.. إلخ، وبالتالى ينقطع خرج المولد خلال هذه الفترات، علمًا بأن الحد الأقصى لخرج مولد النبضات يساوى 12V، ويتم ذلك بواسطة RV_1 (الموجة 3).

٤ - يقوم المكبر الفرقى المؤلف من U_2 بعكس خرج مولد النبضات (الموجة 4) .

٥- يقوم المقارن المؤلف من U_3 بمقارنة خرج المكبر U_2 مع جهد التحكم V_C والذى يتراوح ما بين (0:-10V)، ومفاضلة الخرج بواسطة C_2, R_7، وإزالة المركبة السالبة بواسطة الثنائى D_1 (الموجه 5).

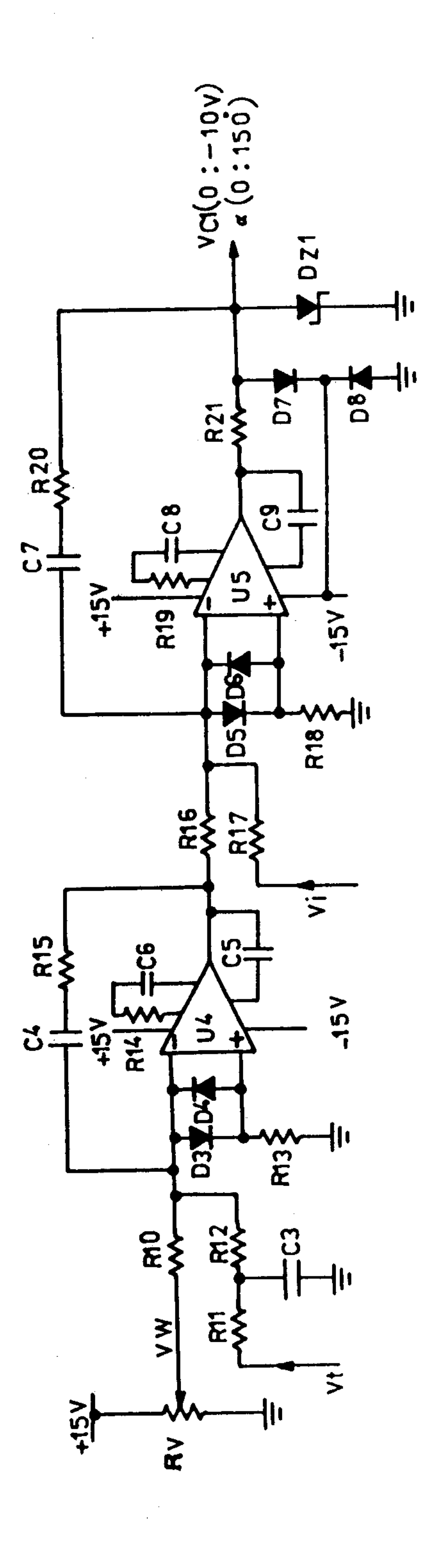
وتتكرر هذه المراحل للوجه B وكذلك للوجه C.

والشكل (٤-٣٠) يعرض دائرة المنظمات المستخدمة للتحكم فى سرعة وتيار المحرك.

عناصر دائرة المنظمات :

R_{10}	مقاومة كربونية	108kΩ	R_{17}	مقاومة كربونية	57.3kΩ
R_{11}	مقاومة كربونية	5kΩ	R_{18}	مقاومة كربونية	33kΩ
R_{12}	مقاومة كربونية	460kΩ	R_{19}	مقاومة كربونية	1.5kΩ
R_{13}	مقاومة كربونية	10kΩ	R_{20}	مقاومة كربونية	85kΩ
R_{14}	مقاومة كربونية	1.5kΩ	R_{21}	مقاومة كربونية	470Ω
R_{15}	مقاومة كربونية	219kΩ	R_{22}	مقاومة كربونية	280Ω
R_{16}	مقاومة كربونية	45.8kΩ	RV_3	مجزئ جهد	10kΩ

C_3	مكثف سعته 10µf
C_4	مكثف سعته 1µf
C_5,C_9	مكثف سعته 33 P_f
C_6,C_8	مكثف سعته 0.005µf
C_7	مكثف سعته 0.47 µf
D_3-D_8	ثنائيات سليكونية BAX13
DZ_1	ثنائى زينر طراز SZ 315
U_4 , U_5	مكبرات عمليات طراز LM709



+15V
Rv
VW
R10
R11
R12
C3
Vt
D3
D4
R13
C4
R15
+15V
R14
C6
U4
C5
-15V
R16
R17
Vi
D5
D6
R18
C7
R20
+15V
R19
C8
U5
C9
-15V
R21
D7
D8
Dz1
Vc1(0 : -10v)
α (0 : 150)

الشكل (٤ - ٣٠)

نظرية التشغيل :

يتم ضبط سرعة المحرك بواسطة مجزئ الجهد RV_3، فعندما يكون الجهد V_W مساوياً 15V + فإن سرعة المحرك ستكون 1600 RPM.

ويعمل R_{11},C_3 كمرشح لإشارة الجهد المقابلة لسرعة المحرك والقادمة من مولد التاكو، وتعمل دائرة المكبر U_4 كمكبر تناسبى تكاملى وهو يمثل منظم السرعة، فى حين تعمل دائرة المكبر u_5 كمكبر تناسبى تكاملى وهو يمثل منظم التيار. وتعمل الثنائيات D_7, D_8 وثنائى الزينر DZ_1 على تحديد خرج المكبر U_5 ليتراوح ما بين (0:-10V) وهذا يقابل زوايا إشعال α مساوية $(0:150^\circ)$.

والجدير بالذكر أنه عندما يكون Vc_1 مساوياً 10V– فإن زاوية الإشعال α تساوى 150°، وهذا يسبب حدوث فرملة للمحرك حيث يحدث فرملة للمحرك إذا كانت زاوية الإشعال أكبر من 90°.

وعندما يكون VC_1 مساوية 2V – فإن زاوية إشعال المحرك تساوى 30°، ويكون جهد أطراف المحرك مساوياً.

$$E_O = \frac{3\sqrt{3}\,V_m \cos\alpha}{\pi} \rightarrow 1.8$$

$$E_O = \frac{3\sqrt{3}\,\frac{188\sqrt{2}}{\sqrt{3}}\,\cos 30^\circ}{\pi} = 220\ V$$

وهذا يمثل الجهد المقنن للمحرك.

٤ / ٤ – الدوائر العملية للتحكم فى مقطعات التيار المستمر

الدائرة رقم 1 :

الشكل (٤–٣١) يعرض الحلقة المغلقة Closed Loop لمقطع ترانزستورى يعمل بمبدأ PWM، ويتحكم فى محرك تيار مستمر مستخدماً منظماً تناسبياً. وتتكون هذه الحلقة المغلقة من ثلاث دوائر وهى : دائرة المقطع الترانزستورى، ودائرة الإشعال، ودائرة المنظم التناسبى.

عناصر الحلقة المغلقة:

R_0	مجزئ جهد	10kΩ	R_{11}	مقاومة كربونية	1kΩ
R_1	مجزئ جهد	10kΩ	R_{12}	مجزئ جهد	10kΩ
R_2	مقاومة كربونية	200kΩ	R_{13}	مقاومة كربونية	10kΩ
R_3	مقاومة كربونية	2.2kΩ	R_{14}	مقاومة كربونية	10kΩ
R_4	مقاومة كربونية	10kΩ	R_{15}	مقاومة كربونية	10kΩ
R_5	مقاومة كربونية	10kΩ	R_{16}	مقاومة كربونية	10kΩ
R_6	مقاومة كربونية	10kΩ	R_{17}	مقاومة متغيرة	100kΩ
R_7	مقاومة كربونية	10kΩ	R_{18}	مقاومة كربونية	10kΩ
R_8	مقاومة كربونية	10kΩ	R_{19}	مقاومة كربونية	100Ω وقدرتها 1W
R_9	مقاومة كربونية	10kΩ	R_{20}	مقاومة كربونية	15Ω
R_{10}	مقاومة كربونية	1.2kΩ			

D_1,D_2 ثنائيات سليكونية طراز 1N34A

D_3 ثنائى سليكونى طراز 1N4000

DZ_1 ثنائى زيز جهده 63V وقدرته 1W

U_1-U_5 مكبرات عمليات طراز 741

B_1 وحدة ارتباط ضوئية طراز CNY173Z

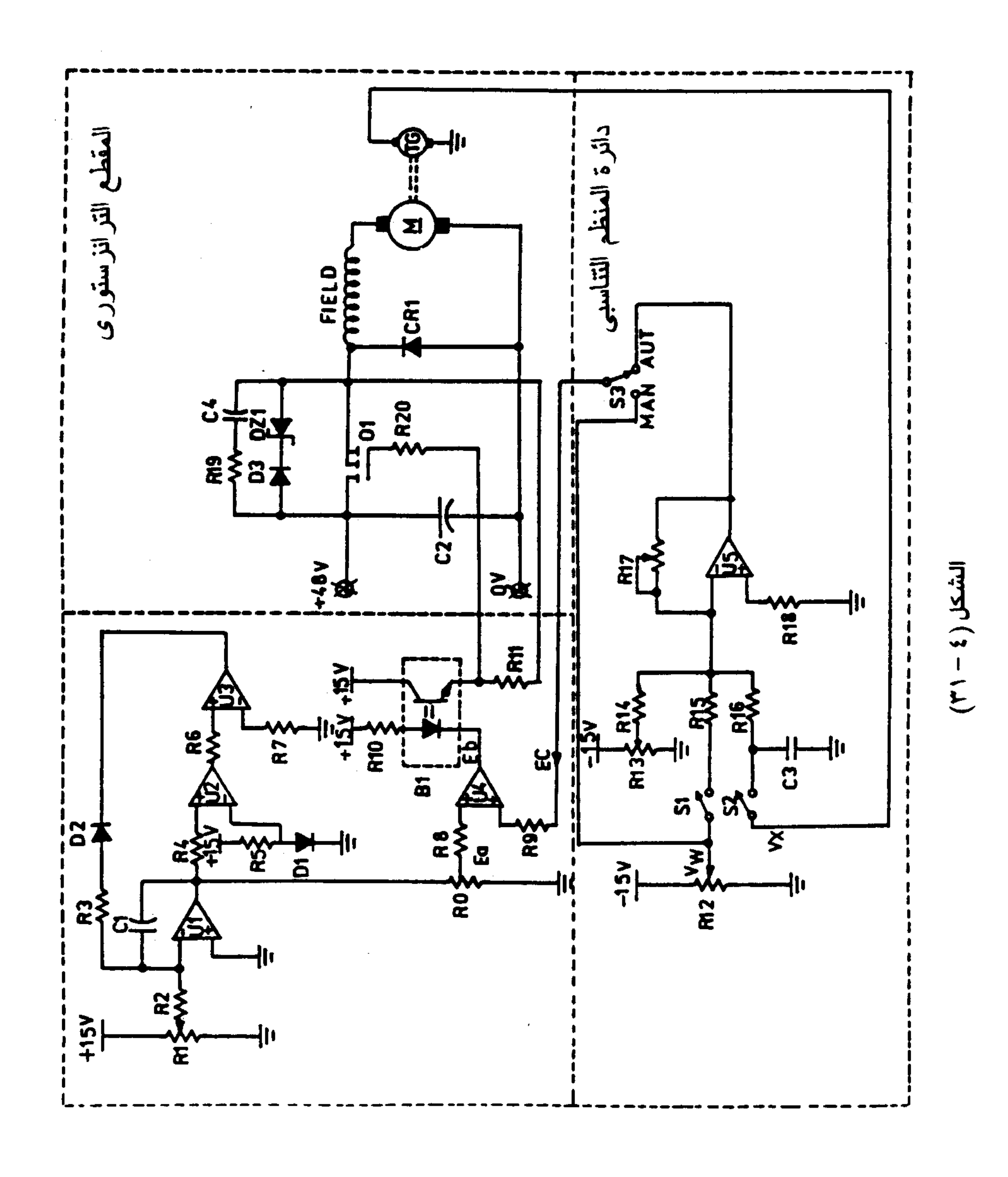
C_1 مكثف كيميائى سعته 0.005 µf وجهده 15 V

C_2 مكثف كيميائى سعته 22 µf وجهده 100V

C_3 مكثف كيميائى سعته 10µf وجهده 15V

C_4 مكثف كيميائى سعته 0.1 µf وجهده 100V

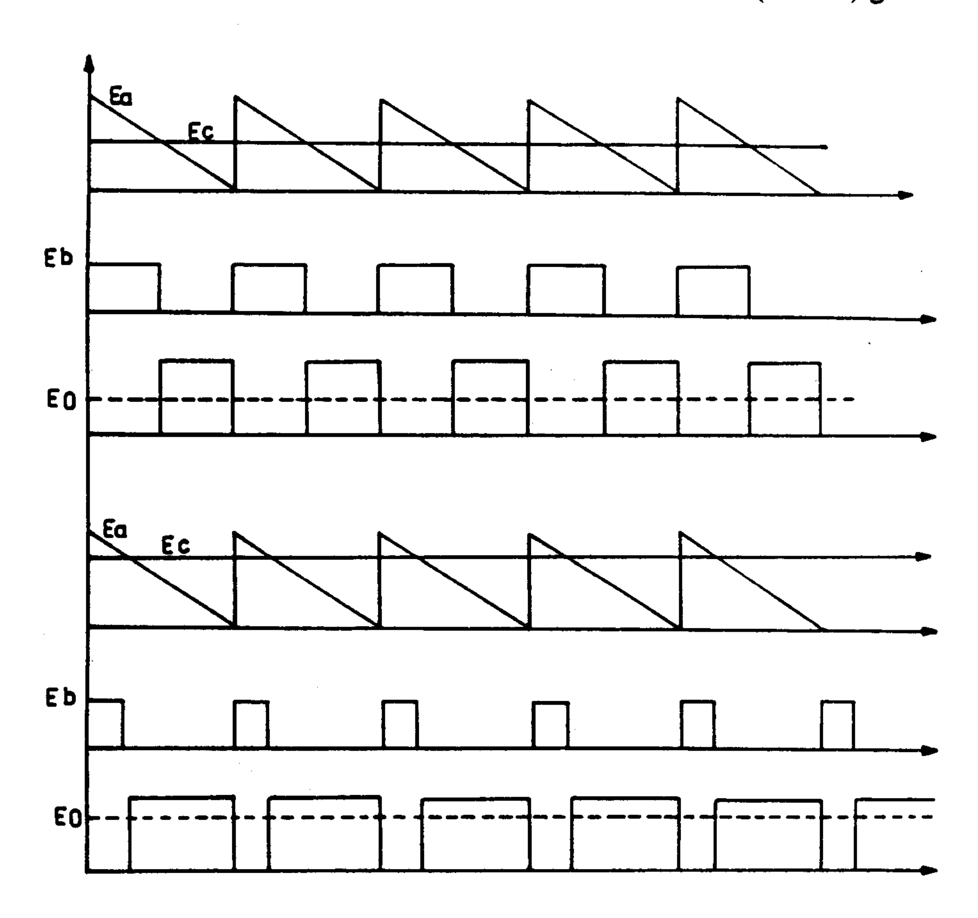
Q_1 ترانزستور Mosfet طراز IRF150


المقطع الترانستوري
دائرة المنظم التناسبي
+15V
R1
R2
R3
C1
D2
U1
R4
+15V
R5
D1
U2
R6
U3
R7
+15V
R10
B1
Eb
U4
R8
Ea
R0
R9
EC
+15V
R11
+48V
0V
C2
D3
R19
DZ1
C4
Q1
R20
FIELD
CR1
M
TG
S3
MAN
AUT
R17
U5
R18
R14
R15
R16
-15V
R13
S1
S2
C3
VX
VW
-15V
R12

الشكل (٤ - ٣١)

نظرية التشغيل

يمكن الاستعانة بموجات الجهد عند النقاط المختلفة فى دائرة الإشعال والمبينة بالشكل (٤-٣٢).



الشكل (٤-٣٢)

ويمكن تقسيم أداء دائرة الإشعال إلى ثلاثة مراحل، كما يلى:

١- توليد النبضات المثلثة Ramp مع التحكم فى القيمة القصوى لها بواسطة مجزئ الجهد R_1، ويمكن التحكم فى تردد هذه النبضات بواسطة المقاومة R_2 والمكثف C_1 وذلك بواسطة U_1,U_2,U_3 (الموجة E_a).

٢- يتم مقارنة خرج مولد النبضات بجهد التحكم القادم من المنظم فى حالة

الحلقة المغلقة أو جهد المرجع فى حالة الحلقة المفتوحة (الموجة E_b).

٣- قيام خرج المقارن U_4 بالتحكم فى وحدة الارتباط الضوئى B_1، فعندما يكون جهد الخرج للمقارن U_4 صفراً يتحول الترانزستور الضوئى لوحدة الارتباط الضوئى لحالة الوصل فيتشكل جهد على أطراف المقاومة R_{11} ويصل جهد بين بوابة ومصدر Q_1 فيتحول Q_1 لحالة الوصل وعندما يصبح جهد خرج المقارن U_4 مشبعاً موجباً ($+V_{CC}$) يتحول الترانزستور الضوئى لوحدة الارتباط الضوئى B_1 لحالة القطع فينعدم الجهد على أطراف المقاومة R_{11} ويتحول Q_1 لحالة القطع (الموجة E_O).

والجدير بالذكر أنه كلما ازداد جهد التحكم E_C قل عرض الموجة المربعة E_b الخارجة من U_4، وكلما ازداد الجهد المتوسط على أطراف المحرك ازدادت سرعة المحرك.

ويعمل الثنائى CR_1 بالسماح بمرور تيار فى المحرك أثناء تحول Q_1 لحالة القطع، وعند فتح S_1, S_2 ووضع المفتاح S_3 على وضع Man نحصل على حلقة مفتوحة، ويتم التحكم فى سرعة المحرك بالتحكم فى جهد المرجع بواسطة مجزئ الجهد R_{12}.

وعند غلق S_1,S_2 ووضع المفتاح S_3 على وضع Aut نحصل على حلقة مغلقة بمنظم تناسبى للتحكم فى سرعة محرك التيار المستمر فى الربع الأول، حيث يعمل U_5 كمقارن ومكبر تناسبى فى نفس الوقت خرجه يساوى:

$$V_{out} = -K_P (V_X - V_W - Voffset)$$

حيث إن:

V_W هو جهد الأساس والذى يقابل السرعة المطلوبة من المجزئى R_{12}.

V_X هو جهد مولد التاكو والمقابل لسرعة المحرك ونحصل عليه من الطرف الموجب لمولد التاكو، ويوصل الطرف السالب للتاكو بالأرضى ويتم ترشيح خرج مولد التاكو بواسطة المكثف C_3.

Voffset هو جهد يعمل على استمرار وجود خرج للمنظم التناسبى عندما يصبح جهد الخطأ ($V_W - V_X$) مساوياً للصفر.

K_P ثابت المنظم التناسبى ويساوى: $\frac{R_{17}}{R_{15}}$

والجدير بالذكر أنه يمكن ضبط offset حتى تصبح سرعة المحرك عند انعدام جهد الخطأ مساوياً %60 من السرعة المطلوبة، فإذا كانت سرعة المحرك المطلوبة 1500RPM عند جهد مرجع 5V فإن جهد offset يساوى:

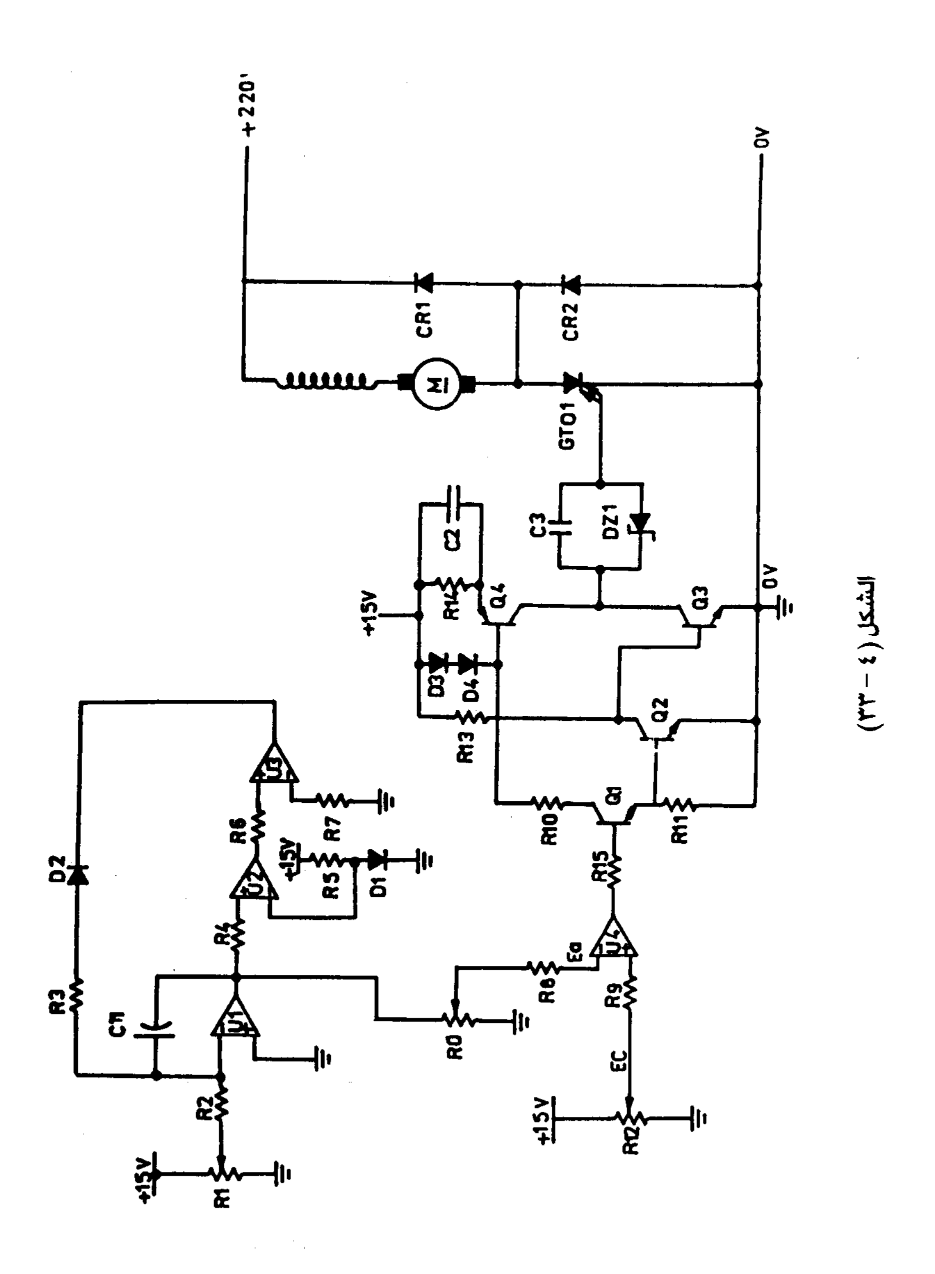
$$V_{offset} = 0.6 \times 5 = 3\ V$$

الدائرة رقم 2:

الشكل (٤-٣٣) يعرض الحلقة المفتوحة لمقطع ثايروستورى ببوابة إطفاء GTO يعمل بمبدأ P_{WM} ويتحكم فى سرعة محرك تيار مستمر.

عناصر الدائرة:

- R_0 مجزئ جهد 10kΩ
- R_1 مجزئ جهد 10kΩ
- R_2 مقاومة كربونية 200kΩ
- R_3 مقاومة كربونية 2.2kΩ
- R_4 مقاومة كربونية 10kΩ
- R_5 مقاومة كربونية 10kΩ
- R_6 مقاومة كربونية 10kΩ
- R_7 مقاومة كربونية 10kΩ
- R_8 مقاومة كربونية 10kΩ
- R_9 مقاومة كربونية 10kΩ
- R_{10} مقاومة كربونية 10kΩ
- R_{11} مقاومة كربونية 2.2kΩ
- R_{12} مجزئ جهد 10kΩ
- R_{13} مقاومة كربونية 560Ω
- R_{14} مقاومة متغيرة 39Ω
- R_{15} مقاومة كربونية 1kΩ
- D_1,D_2 ثنائيات سليكونية طراز 1N34A
- D_3,D_4 ثنايات سليكونية طراز BA W62
- DZ_1 ثنائى زيز جهده 10V طرازه BZX 61- C10
- C_1 مكثف كيميائى سعته 0.05 µf وجهده 25V
- C_2 مكثف كيميائى سعته 470 nf وجهده 25V
- C_3 مكثف كيميائى سعته 470nf وجهده 16V
- Q_1,Q_2 ترانزستورات NPN طراز 2N3053
- Q_3 ترانزستورات NPN طراز TIP121
- Q_4 ترانزستورات PNP طراز BC461
- GTO_1 ترانزستورات ببوابه إطفاء طراز BTW58 تياره 10A



+220V
0V
CR1
CR2
M
GTO1
C2
C3
DZ1
+15V
R14
Q4
D3
D4
R13
Q2
Q3
0V
Q1
R10
R11
R15
U4
Ea
R8
R9
EC
R12
+15V
R0
R1
+15V
R2
U1
C11
R3
D2
R4
U2
R5
+15V
D1
R6
R7
U3

الشكل (٤ - ٣٣)

نظرية التشغيل:

يمكن الإستعانة بموجات الجهد عند النقاط المختلفة فى دائرة الإشعال والمبينة بالشكل (٤-٣٢)، ويمكن تقسيم أداء دائرة الإشعال لثلاثة مراحل، وهى كما يلى:

١- توليد النبضات المثلثة Ramp بواسطة U_1, U_2, U_3، كما يمكن التحكم فى القيمة القصوى لها بواسطة مجزئ الجهد R_1، ويمكن التحكم فى تردد هذه النبضات بواسطة المقاومة R_2 والمكثف C_1، ويضبط تردد هذه النبضات مساويًا 1KHZ (الموجة E_a).

٢- مقارنة خرج مولد النبضات بجهد التحكم E_C (الموجة E_b).

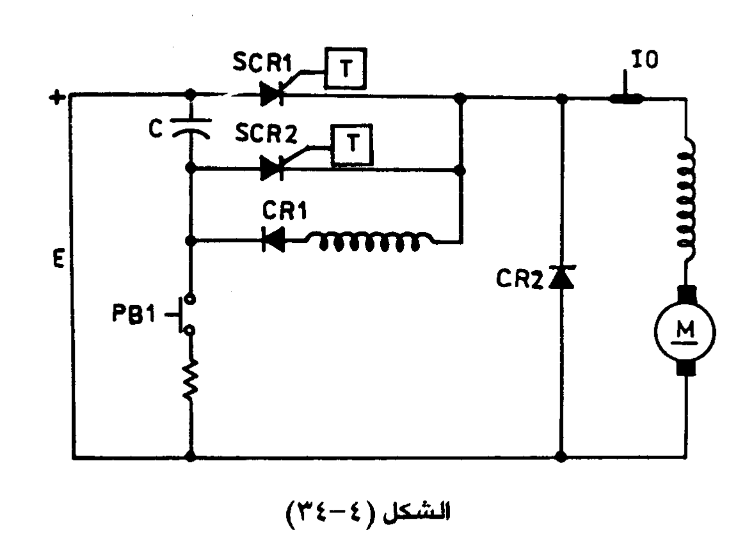
٣- تحول الثايرستور ذات بوابة الإطفاء $GT0_1$ لحالة الوصل عند وصول نبضة عالية لقاعدة Q_1 من المكبر U_4 وتحوله لحالة القطع عند وصول نبضة منخفضة لقاعدة Q_1 فعند وصول نبضة عالية لقاعدة Q_1 يتحول Q_1 لحالة الوصل فيتحول Q_2 تباعًا لحالة الوصل ويتحول Q_4 لحالة الوصل، فى حين يتحول Q_3 لحالة القطع فيصل تيار موجب من جهد المصدر الموجب +15V عبر المقاومة R_{14} والترانزستور Q_4 لبوابة GTO_1 فيتحول لحالة الوصل. وعند وصول نبضة منخفضة لقاعدة Q_1 يتحول Q_1 لحالة القطع فيتحول Q_2 لحالة القطع ويتحول Q_4 لحالة القطع، فى حين يتحول Q_3 لحالة الوصل ويصل جهد 10V - البوابة GTO_1 بواسطة DZ_1 فيتحول GTO_1 لحالة القطع (الموجة E_O).

والجدير بالذكر أنه يتم ضبط القيمة العظمى للجهد E_a بحيث تساوى الجهد الأقصى لجهد التحكم E_C والذى يمثل جهد المرجع فى حالة الحلقة المفتوحة بواسطة مجزئ الجهد R_O.

ويعمل ثنائى الحدافة CR_1 على مرور تيار فى المحرك أثناء تحول GTO_1 لحالة القطع، فى حين يعمل الثنائى CR_2 على حماية GTO_1 من القفزات السريعة فى جهد المصدر.

الدائرة رقم 3:

الشكل (٤ - ٣٤) يعرض دائرة القدرة لمقطع ثايرستورى يتم إطفاءه بالجهد Voltage Commutation، حيث إن SCR_1 يمثل الثايرستور الرئيسى، أما SCR_2 يمثل ثايرستور الإطفاء.



الشكل (٤-٣٤)

والشكل (٤-٣٥) يعرض دائرة إشعال وإطفاء الثايرستورات الخاصة بدائرة المقطع الثايرستورى، الذى يتم إطفاؤه بالجهد، والمبينة بالشكل السابق.

عناصر دائرة الإشعال:

R_0	مجزئ جهد	10kΩ	R_{11}	مقاومة كربونية	10kΩ
R_1	مجزئ جهد	10kΩ	R_{12}	مقاومة كربونية	5kΩ
R_2	مقاومة كربونية	200kΩ	R_{13}	مقاومة متغيرة	100Ω
R_3	مقاومة كربونية	2.2kΩ	R_{14}	مقاومة متغيرة	10kΩ
R_4	مقاومة كربونية	10kΩ	R_{15}	مقاومة كربونية	10kΩ
R_5	مقاومة كربونية	10kΩ	R_{16}	مقاومة كربونية	10kΩ
R_6	مقاومة كربونية	10kΩ	R_{17}	مقاومة كربونية	10kΩ
R_7	مقاومة كربونية	10kΩ	R_{18}	مقاومة كربونية	10kΩ
R_8	مقاومة كربونية	10kΩ	R_{19}	مقاومة كربونية	1kΩ
R_9	مقاومة كربونية	10kΩ	R_{20}	مقاومة كربونية	5kΩ
R_{10}	مقاومة كربونية	10kΩ	R_{21}	مقاومة متغيرة	100Ω

C_1 مكثف كيميائى 0.005 µf وجهده 16V

C_2 مكثف كيميائى 0.1µf وجهده 16V

C_3 مكثف كيميائى 0.1µf وجهده 16V

D_1, D_2 ثنائيات سليكونية طراز 1N34A

D_3, D_4, D_5 ثنائيات زينر طراز 1N4733

D_6, D_7 ثنائيات زينر طراز 1N4004

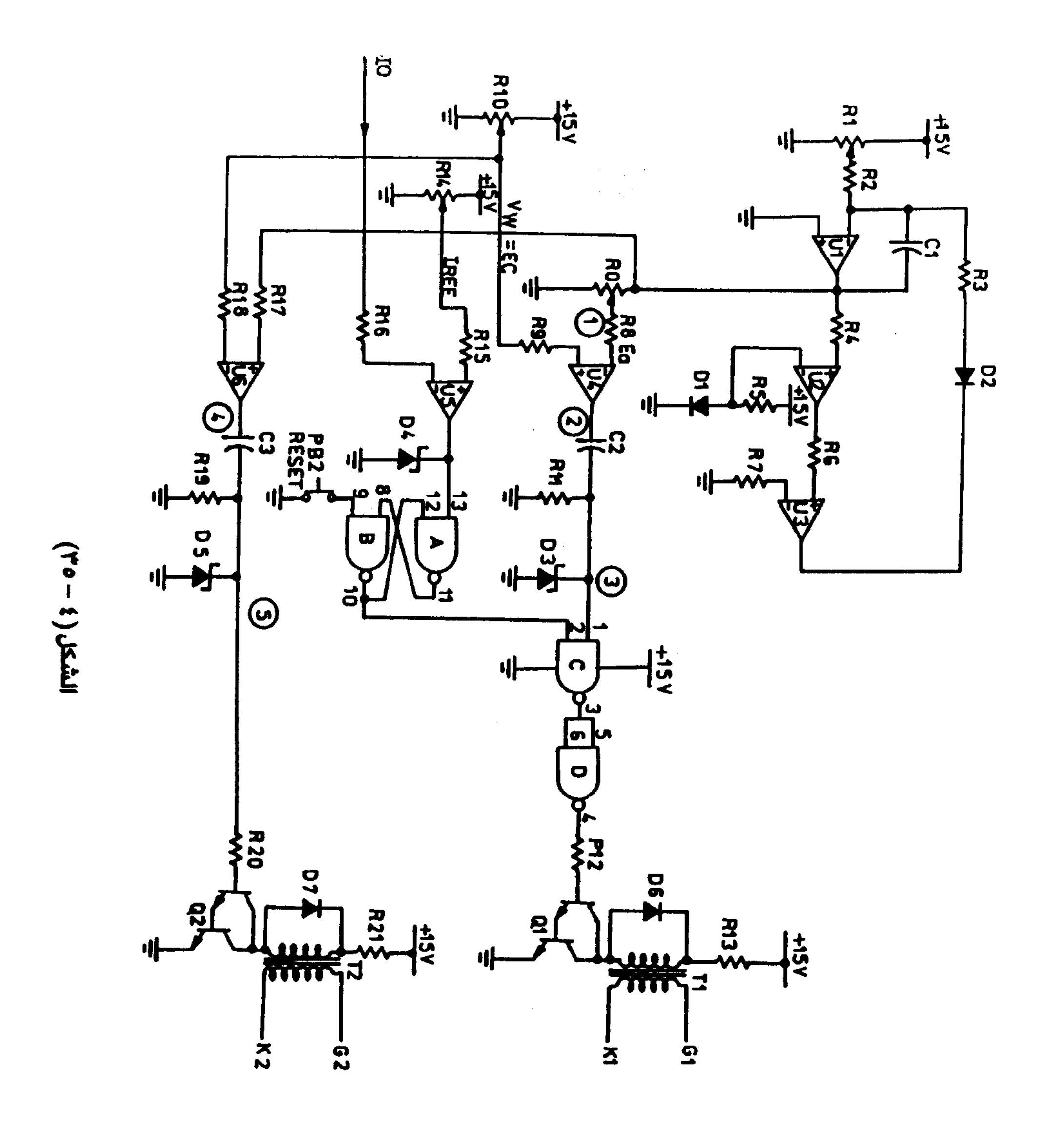
U_1-U_6 مكبرات عمليات طراز 741

A,B,C,D دائرة متكاملة تحتوى على أربع بوابات NAND طراز 4011

T_1, T_2 محول نبضات بملف ثانوى بنسبة تحويل 1:1

Q_1, Q_2 ترانزستور دار لنجتون NPN طراز TIP112 .

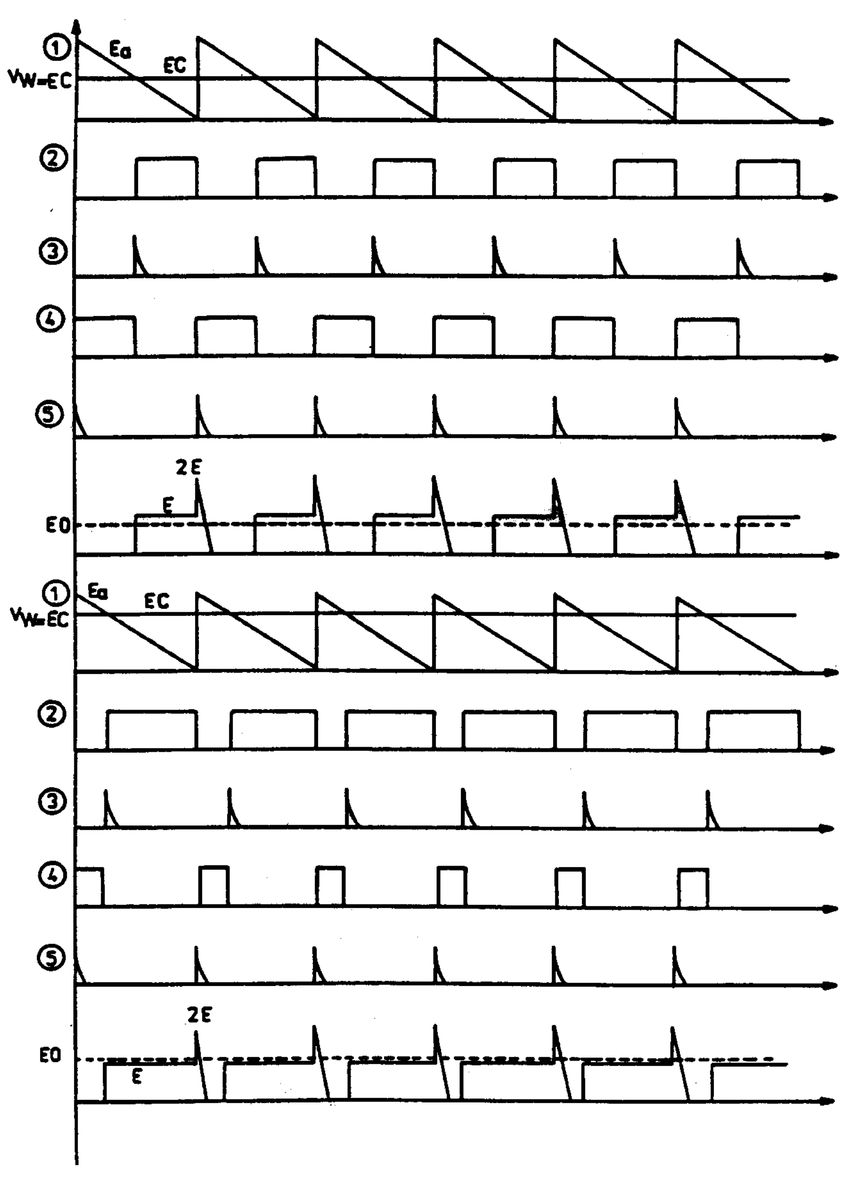
PB_1 ضاغط بريشة مفتوحة .



الشكل (٣ - ٤٥)

نظرية التشغيل :

حتى بسهل علينا استيعاب نظرية تشغيل دائرة إشعال وإطفاء المقطع الثايرستورى السابق سنستعين بموجات الجهد عند النقاط المختلفة لدائرة الإشعال، والمبينة بالشكل (٤-٣٦).



الشكل(٤ - ٣٦)

ويمكن تقسيم هذه الدائرة إلى ست مراحل، وهى كما يلى :

١ - تعمل المكبرات U_1, U_2, U_3 كمولد نبضات مثلثة **Ramp** يتم التحكم فى ترددها بواسطة R_2, C_1 وجهد الإدخال الذى يمكن التحكم فيه بواسطة مجزىء الجهد R_1 (الموجة 1) .

٢ - يقوم المكبر U_4 بمقارنة خرج مولد النبضات المثلثة مع جهد الرجع V_W والذي نحصل عليه من مجزئ الجهد R_{10} فإذا كان جهد المرجع أكبر من جهد النبضات المثلثة يتشبع خرج المقارن U_4 (الموجة 2) .

٣ - يتم مفاضلة خرج المقارن U_4 بواسطة الدائرة التفاضلية المؤلفة من C_2, R_{11} وإزالة المركبة السالبة بواسطة D_3 (الموجة 3) ، وتنتقل هذه النبضات خلال بوابة AND المؤلفة من البوابتين C,D لقاعدة Q_1 (وذلك بعد الضغط على الضاغط PB_2 حيث يصبح خرج القلاب المؤلف من البواتين A,B عال) فتنتقل هذه النبضات إلى الثايرستور SCR_1 من خلال محول النبضات T_1 فيدور المحرك ويشحن المكثف C .

٤- يتم مقارنة جهد المرجع الذى نحصل عليه من مجزئ الجهد R_{10} بخرج مولد النبضات بواسطة المكبر U_6، فإذا كان جهد النبضات المثلثة أعلى من جهد المرجع يصبح خرج المقارن U_6 مشبعًا موجبًا (الموجة 4) .

٥- يتم مفاضلة خرج المقارن U_6 بواسطة الدائرة التفاضلية المؤلفة من C_3, R_{19} وإزالة المركبة السالبة بواسطة الثنائى D_3 (الموجة 5)، وتنقل هذه النبضات إلى الثايرستور SCR_2 بواسطة محول النبضات T_2 فيعملان على إطفاء الثايرستور SCR_1 ويلاحظ أن زمن وصل الثايرستور SCR_1 يعتمد على جهد المرجع E_C فكلما ازداد جهد المرجع ازداد زمن الوصل والعكس بالعكس، وهذا واضح من شكل موجة جهد المحرك E_O .

٦- عند حدوث زيادة فى الحمل على المحرك وتعدى تيار المحرك E_O تيار المرجع Iref المعاير بواسطة مجزئ الجهد R_{14} يصبح المكبر U_5 مشبعًا سالبًا ويعمل الثنائى D_4 بإمرار خرج المكبر U_4 السالب للأرض ليصبح جهد خرج U_5 يساوى الصفر تقريبًا، وفى هذه الحالة يصبح خرج القلاب المؤلف من البوابتين A, B منخفضًا

وتبـاعًـا يصـبح خـرج البـوابة D منخـفـضًـا، وينقطع وصـول نبـضـات إشـعـال الثايرستورات الرئيسية SCR_1 , SCR_2 فيتوقف المحرك لحين إزالة سبب زيادة الحمل عن المحـرك، ثـم الضـغط على الضـاغط PB_1 للتـحرير وإعادة الدائرة للعـمـل من جديد .

ملاحظات :

١- يمكن تحـويل هذه الدائرة لحلقـة مـغلقـة بإضـافـة منظم تنـاسـبى أو تنـاسـبى تكاملى أو تناسـبى تفـاضـلى تكاملى بنفس الطريقـة المتبـعة بالدائرة رقم 1 الفقرة (٢/٧) .

٢- يتم ضبط القيـمة العظمى للجهـد E_a بواسطة المقـاومـة R_1 أو المقـاومـة R_O بحيث تساوى القيـمة العظمى لجهـد التحكم E_C (جـهـد المرجع فى حـالة الحلقة المفتوحة V_W) .

٣- يستخدم محول إشارة لتحويل التيار المستمر لجهد مستمر وذلك لتحويل تيار المحرك E_O لإشارةجهد .

٤- تختار CR_2 , CR_1 و SCR_2 , SCR_1 تبعًا لقدرة المحرك .

٥- سعـة المكثف C نحصل عليـها من المعادلة 1.11 وحث الملف L من المعـادلة 1.12 .

٦- فى بداية تشغيل المقطع الذى نحن بصدده يجب الضغط على الضاغط PB_1 لشحن المكثف C من خلال المسـار E ثم C ثـم PB_1 ثـم R، ويصـبح اللوح العلوى للمكثف C بشحنة موجبة، ثم بعد ذلك يتم توصيل التيار الكهربى لدائرة التحكم ثم التشغيل.

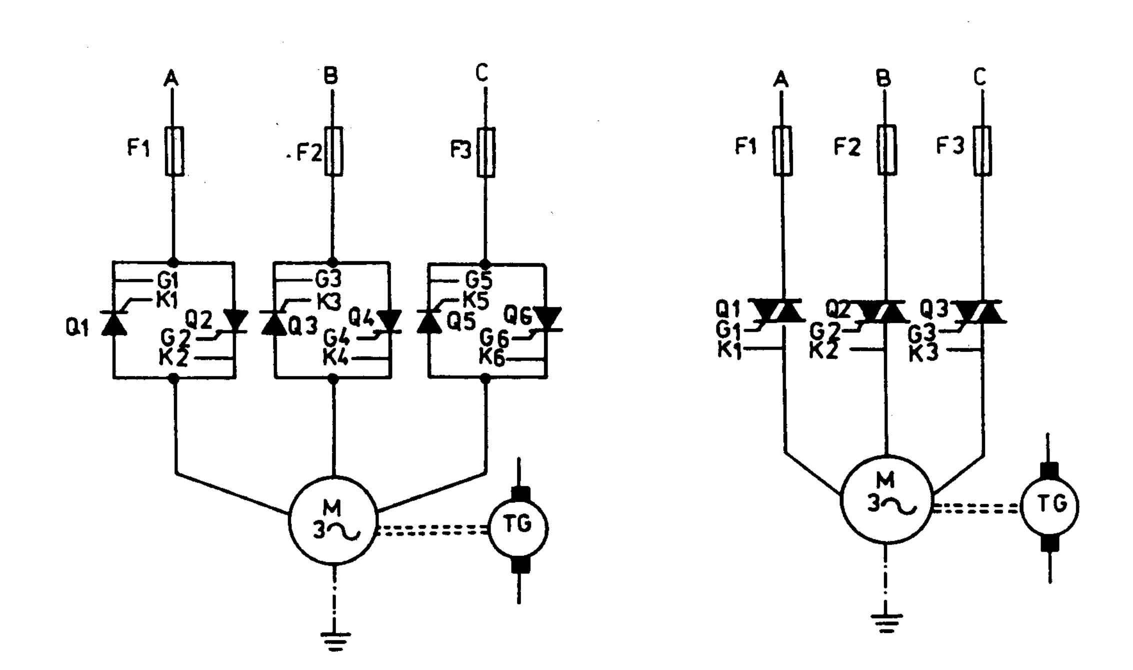
الباب الخامس

تطبيقات على التحكم فى آلات التيار المتردد الثلاثية الأوجه

تطبيقات على التحكم فى آلات التيار المتردد الثلاثية الأوجه

٥ / ١ التحكم فى سرعة محرك استنتاجى 3ϕ بالتحكم فى جهد أطرافه :

الشكل (٥-١) يعرض دائرة القدرة لمحرك استنتاجى ثلاثى الوجه يتم التحكم فى سرعته بالتحكم فى جهد أطرافه، باستخدام ثلاث ترياكات (الشكل أ) وباستخدام عدد 6 ثايرستور (الشكل ب) .



الشكل (٥-١)

وتختار الترياكات والثايرستورات حسب قدرة المحرك، أما المصهرات F_1 - F_3 تبعًا لتيار المحرك ويثبت مولدتاكو على عمود إدارة المحرك بحيث يوصل الطرف السالب للمولد بالأرضى .

والشكل (٥-٢) يبين دائرة الإشعال لدائرة القدرة المبينة بالشكل (٥ - ١ب) .

عناصر دائرة الإشعال :

R_1	مقاومة كربونية	1KΩ
R_2	مقاومة كربونية	1KΩ
R_3	مقاومة كربونية	1KΩ
R_4	مجزئ جهد	100KΩ
R_5	مقاومة كربونية	47KΩ
R_6	مقاومة كربونية	100KΩ
R_7	مجزئ جهد	10KΩ
R_8	مقاومة كربونية	10KΩ
R_9	مقاومة كربونية	10KΩ
R_{10}	مقاومة كربونية	10KΩ
R_{11}	مقاومة كربونية	2.7KΩ
R_{12}	مقاومة كربونية	2W, 2Ω
R_{13}	مقاومة كربونية	6.8KΩ

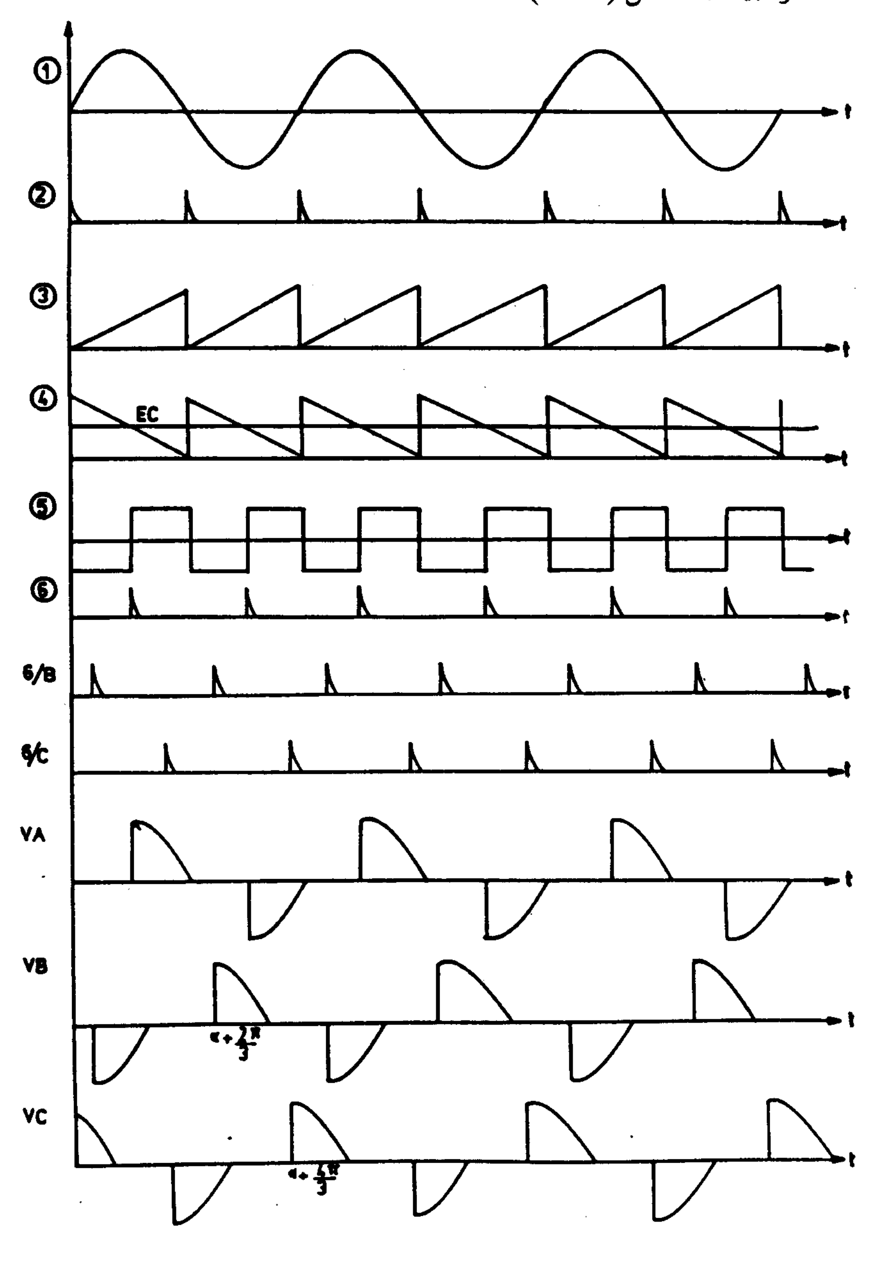
$C_1 - C_4$	مكثفات كيميائية سعتها 0.1 μF وجهده 25V
D_1, D_2	ثنائيات سليكونى طراز 1N 914
D_3	ثنائى سليكونى طراز 1N 4732
D_4	ثنائى سليكونى طراز 1N 4001
A, B	مكبر عمليات طراز LM 324
C, D	مكبر عمليات طراز LM 324
T_1	محولات خفض 220/6V وسعته 15VA
T_4	محول نبضات بملفين ثانويين بنسبة تحويل 1 : 1
Q_1	ترانزستور NPN طراز BC 108 B

وتضاعف هذه العناصر ثلاث مرات .

الشكل (٥-٢)

نظرية التشغيل:

لاستيعاب نظرية التشغيل سنستعين بموجات الجهد عند النقاط المختلفة لدائرة الإشعال، والمبينة بالشكل (٥-٣).



الشكل (٥-٣)

ويمكن تقسيم دائرة إشعال الوجه A إلى ست مراحل، وهى كما يلى:

١ – يقوم المحول T_1 بخفض الجهد من 220 V / 6V (الموجة 1).

٢ – يقوم كاشف عبور الصفر المؤلف من المكبرات A,B والمكثفات C_1, C_2 والثنائيات D_1, D_2 والمقاومات R_1, R_2 بإخراج نبضة لحظة عبور موجة الجهد بالصفر (الموجة 2).

٣ – يتحول الترانزستور T_1 لحالة الوصل عند وصول نبضة عالية لقاعدته فيتوقف مولد النبضات المثلثة والمؤلف من R_4, C_3 ، فى حين تخرج النبضات المثلثة Ramp طبيعيًا عندما يكون خرج كاشف عبور الصفر صفراً (الموجة 3).

٤ – يقوم المكبر المقارن D بمقارنة خرج مولد النبضات المثلثة مع جهد التحكم E_C (الموجة 5).

٥ – يقوم المفاضل المؤلف من C_4, R_5 بمفاضلة خرج المقارن D (الموجة 6).

ونفس هذه المراحل تتكرر من دائرة إشعال الوجه B والوجه C ، حيث إن (الموجة 6/B) تمثل نبضات إشعال ثايرستورات الوجه B أما (الموجة 6/C) فتمثل نبضات إشعال الوجه C ، علمًا بأن نبضات إشعال الوجه A (الموجة 6) ونبضات إشعال الوجه B (الموجة 6/B) ونبضات إشعال الموجة C (الموجة 6/C) مرسومة عندما كانت زاوية الإشعال $\propto$ تساوى $60°$.

ويلاحظ أن نبضات إشعال الوجه B متأخرة $120°$ عن نبضات إشعال الوجه A وكذلك فإن نبضات إشعال الوجه C متأخرة $120°$ عن نبضات إشعال الوجه B .

أما الجهود V_A, V_B, V_C فهى جهود الأوجه الثلاثة للمحرك.

والجدير بالذكر أنه فى حالة ترياكات بدلاً من ثايرستورات القدرة تستخدم محولات نبضات بملف ثانوى واحد.

ويمكن تحويل نظام التحكم الذى نحن بصددة إلى حلقة مغلقة وذلك باستخدام أحد المنظمات الآتية (PID أو PI أو P) بنفس الطريقة المتبعة فى الدائرة رقم 1 الفقرة (٤ / ٢).

ولضبط هذه الدائرة يجب التأكد من أن القيمة العظمى للجهد الخارج من المكبر C تساوى القيمة العظمى لجهد التحكم E_C ويتم التحكم فى القيمة العظمى لخرج المكبر C بواسطة المقاومة المتغيرة R_4 ومجزىء الجهد R_6 .

٥ / ٢ - التحكم في سرعة محرك استنتاجي بتغيير الجهد والتردد :

الشكل (٥-٤) يعرض الدائرة الرئيسية لمغير جهد وتردد بعاكس بست خطوات بثلاثة فى حالة وصل، وهو يتكون من:

١ - قنطرة توحيد لتوحيد التيار المتردد الثلاثى الوجه إلى تيار مستمر، وهى مؤلفة من 6 ثنائيات سليكونية CR_1 - CR_6 .

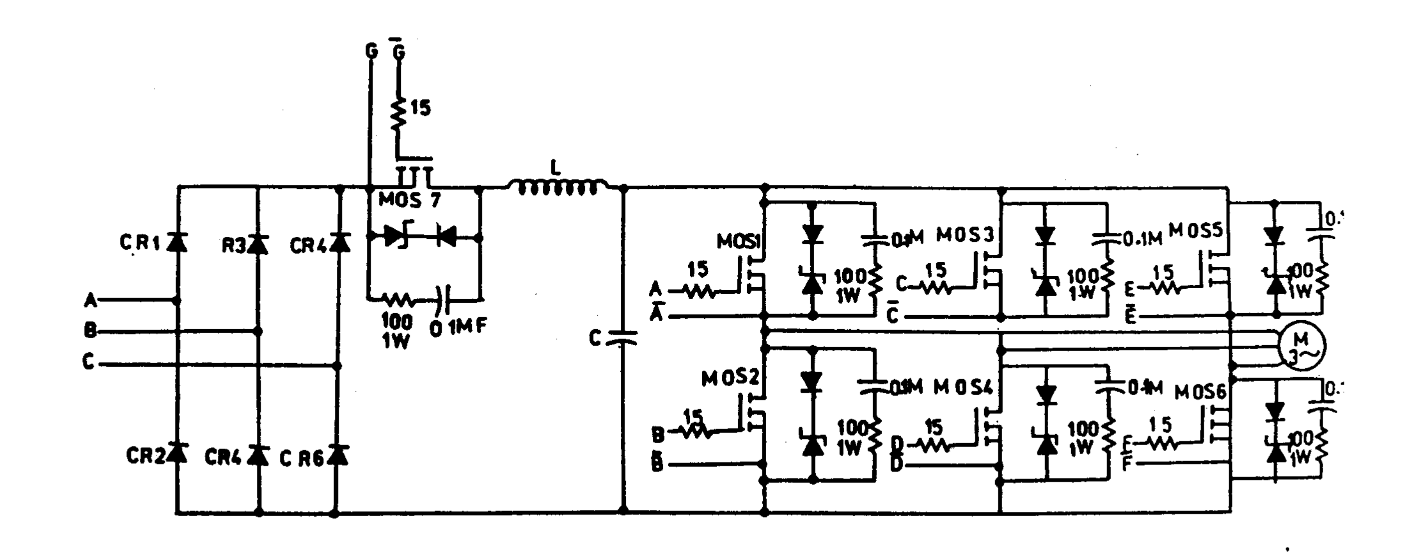
٢ - مقطع Chopper يتألف من ترانزستور Q_7 Mosfet ، ويتم التحكم فيه بمبدأ PWM للتحكم فى القيمة المتوسطة للجهد المستمر.

٣ - عاكس Inverter يتألف من 6 ترانزستورات Mosfet وهم (Q_1 - Q_6) يعمل على تحويل التيار المستمر لتيار متردد بحيث تكون النسبة بين $\left(\frac{\text{الجهد}}{\text{التردد}}\right)$ ثابتة ومساوية $\left(\frac{380}{50} = 7.6\right)$ ، وذلك بمبدأ العاكس ذى الست خطوات بثلاثة ترانزستورات فى حالة وصل.

والجدول (٥-١) يبين تتابع التشغيل للترانزستورات Q_1 - Q_6 فى الخطوات الست للعاكس، علماً بأن 1 تعنى الترانزستور فى حالة وصل، أما O فتعنى أن الترانزستور فى حالة فصل.

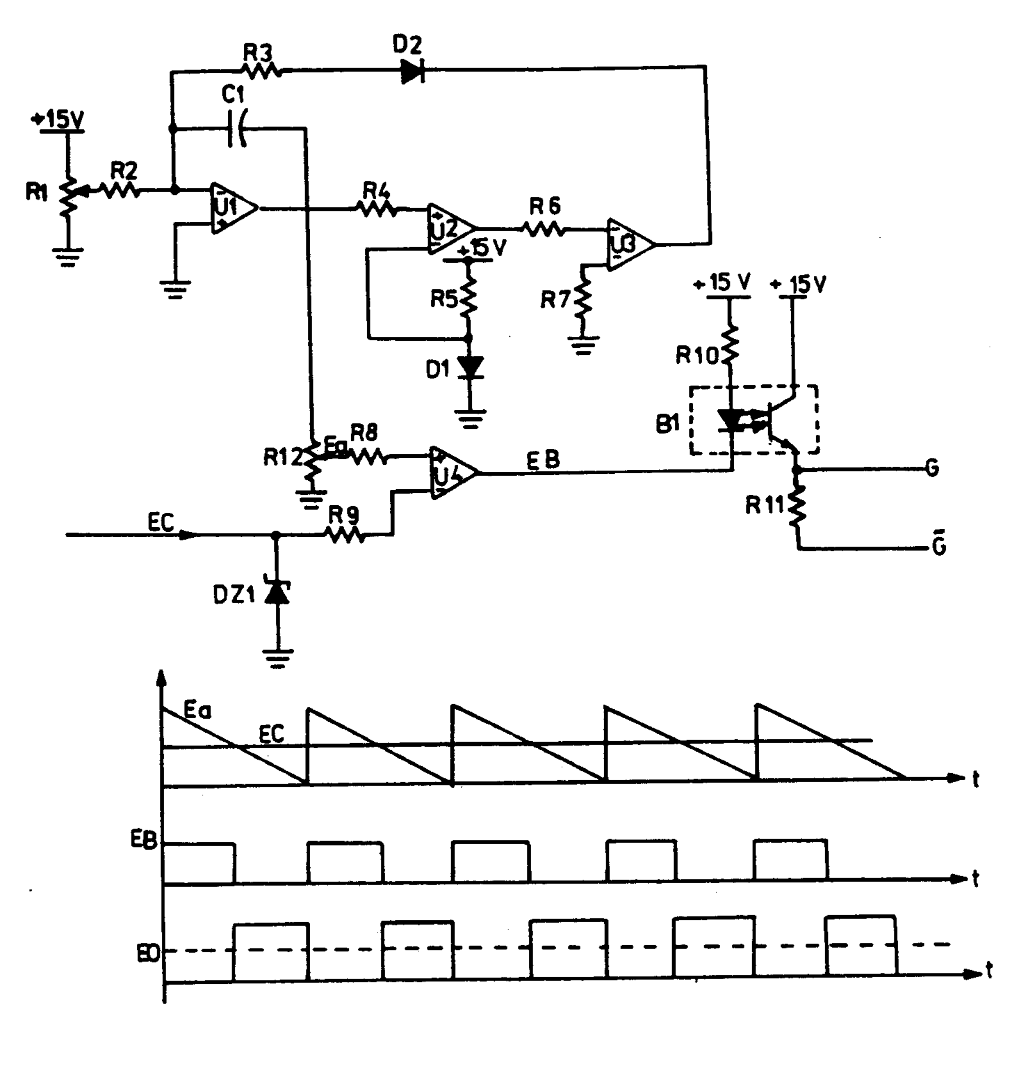
الجدول (٥-١)

الخطـوة / الترانزستور	1	2	3	4	5	6
Q_1	1	1	1	0	0	0
Q_2	0	0	0	1	1	1
Q_3	0	0	1	1	1	0
Q_4	1	1	0	0	0	1
Q_5	1	0	0	0	1	1
Q_6	0	1	1	1	0	0


A
B
C
CR1
R3
CR4
CR2
CR4
C R6
G
15
MOS 7
100
1W
0 1MF
L
C
MOS1
MOS2
MOS3
MOS4
MOS5
MOS6
0.1M
100
1W
M
3~

الشكل (٥ - ٤)

والشكل (٥–٥) يعرض دائرة التحكم فى المقطع Chopper وكذلك شكل نبضات الجهد عند النقاط المختلفة لدائرة التحكم فى المقطع.



الشكل (٥–٥)

عناصر الدائرة:

R_1	مجزئ جهد 10KΩ	R_7	مقاومة كربونية 10KΩ
R_2	مقاومة كربونية 200KΩ	R_8	مقاومة كربونية 10KΩ
R_3	مقاومة كربونية 2.2KΩ	R_9	مقاومة كربونية 10KΩ
R_4	مقاومة كربونية 10KΩ	R_{10}	مقاومة كربونية 1.2KΩ
R_5	مجزئ جهد 10KΩ	R_{11}	مقاومة كربونية 1KΩ
R_6	مقاومة كربونية 10KΩ		

C_1	مكثف كيميائى 0.005 μF وجهده 16V
D_1, D_2	ثنائيات سليكونية طراز 1N 34A
DZ_1	ثنائى زينر طراز 1N 751A
$U_1 - U_4$	مكبرات عمليات طراز 741
B_1	وحدة ارتباط ضوئية طراز CNY 173Z

نظرية التشغيل:

يمكن تقسم أداء هذه الدوائر لثلاث مراحل، وهي كما يلي:

١- توليد موجات مثلثة Ramp بواسطة المكبرات U_1, U_2, U_3 علماً بأنه يمكن التحكم في ترددها بواسطة R_2, C_1 وكذلك الجهد الداخل من المجزئ R_1 (الموجة E_a).

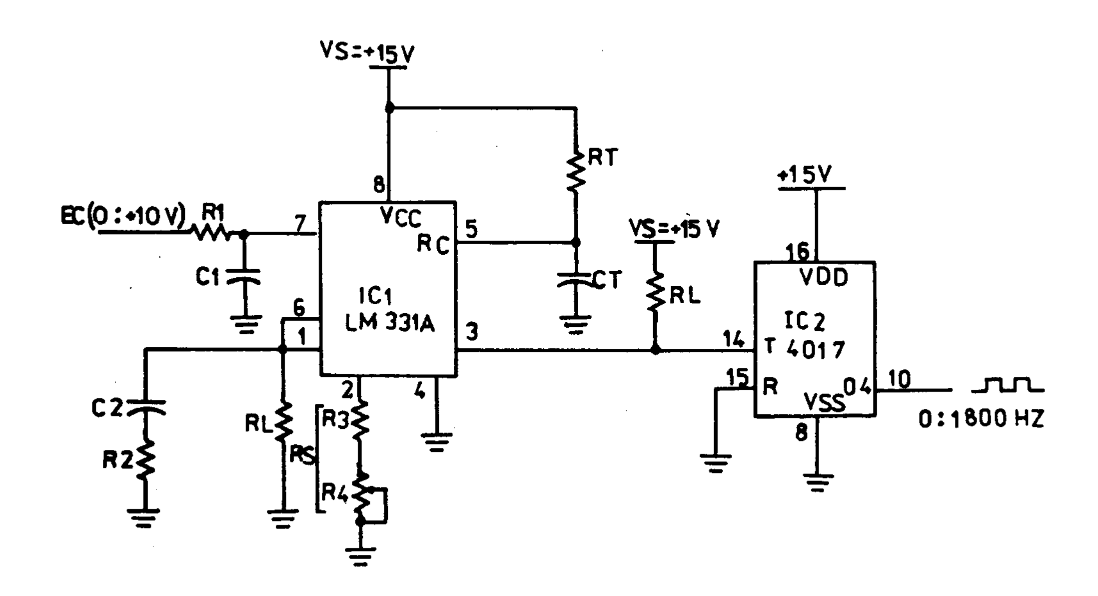
٢- مقارنة النبضات المثلثة بجهد التحكم E_C القادم من المنظم PID للحلقة المغلقة (الموجة E_b) وذلك بواسطة المقارن U_4.

٣- قيام خرج المقارن U_4 بالتحكم في وحدة الارتباط الضوئي B_1، فعندما يكون جهد الخرج للمقارن U_4 صفراً يتحول الترانزستور الضوئي لوحدة الارتباط الضوئي لحالة الوصل فيتشكل جهد علي أطراف المقاومة R_{11}، ويصل جهد بين بوابة ومصدر MOS_7 فيتحول لحالة الوصل. وعندما يصبح جهد خرج المقارن U_4 مشبعاً موجباً (Vsat +) يتحول الترانزستور الضوئي لوحدة الارتباط الضوئي

B_1 لحالة القطع فينعدم الجهد علي أطراف المقاومة R_{11}، ويتحول Q_1 لحالة القطع (الموجة E_O).

والجدير بالذكر أنه كلما ازداد جهد التحكم E_C ازداد عرض الموجة المربعة الخارجة من U_4 ازداد الجهد المتوسط الخارج من المقطع، ويقوم ثنائي الزينر DZ_1 بمنع جهد التحكم من تعدى جهد الزينر له وهو +5v.

ويتم التحكم في خرج العاكس Inverter باستخدام دائرة تسمي VCO أي مذبذب تردده يعتمد علي جهد التحكم E_C القادم من المنظم PID للحلقة المغلقة، والشكل (٥-٦) يعرض دائرة VCO.



الشكل (٥ -٦)

عناصر الدائرة:

R_1	مقاومة كربونية 100KΩ	R_T	مقاومة كربونية 6.91kΩ بتفاوت 1%
R_2	مقاومة كربونية 47KΩ	R_L	مقاومة كربونية 100KΩ
R_3	مقاومة كربونية 10KΩ	R_S	تساوى مجموع (R_3+R_4)
R_4	مقاومة متغيرة 5KΩ		وتضبط لتساوى 13.024KΩ

C_1 مكثف كيميائي سعته 0.1µF وجهده 16V .

C_T مكثف كيميائي سعته 0.01 µF وجهده 16V بتفاوت 5%.

C_2 مكثف كيميائي سعته 1.0 µF وجهده 16V .

IC_1 مكبر عمليات طراز LM 331A.

IC_2 عداد عشري طراز 4017 .

نظرية تشغيل VCO :

يكون تردد الموجات المربعة الخارجة من الدائرة المتكاملة IC_1 طراز LM 331A مساوياً :

$$F = \frac{0.478}{R_T C_T} \quad \frac{R_S}{R_L} \quad E_C$$

فعند ضبط R_S لتساوى 13.024kΩ حينئذ فإن :

$$F = 9000\ E_C.$$

أي أن E_C تتراوح ما بين 0:10V؛ لذلك فإن التردد يتراوح ما بين :

$$F = (0:900\ HZ)$$

فإذا أردنا أن يكون تردد المحرك يتراوح بين 0:100HZ؛ فإن التردد الذي نحتاجه في هذه الحالة يجب أن يكون ما بين 0:1800HZ، والسبب ستعرفه فيما بعد، وباستخدام عداد 4017 لتقسيم خرج الدائرة المتكاملة LM331A على 5 نحصل علي تردد يتراوح ما بين (0:1800HZ) والذى يدخل علي دائرة الإشعال المبينة بالشكل (٥ – ٧) .

عناصر دائرة إشعال العاكس :

R_1 مقاومة كربونيه 1.2KΩ

R_2 مقاومة كربونية 1KΩ

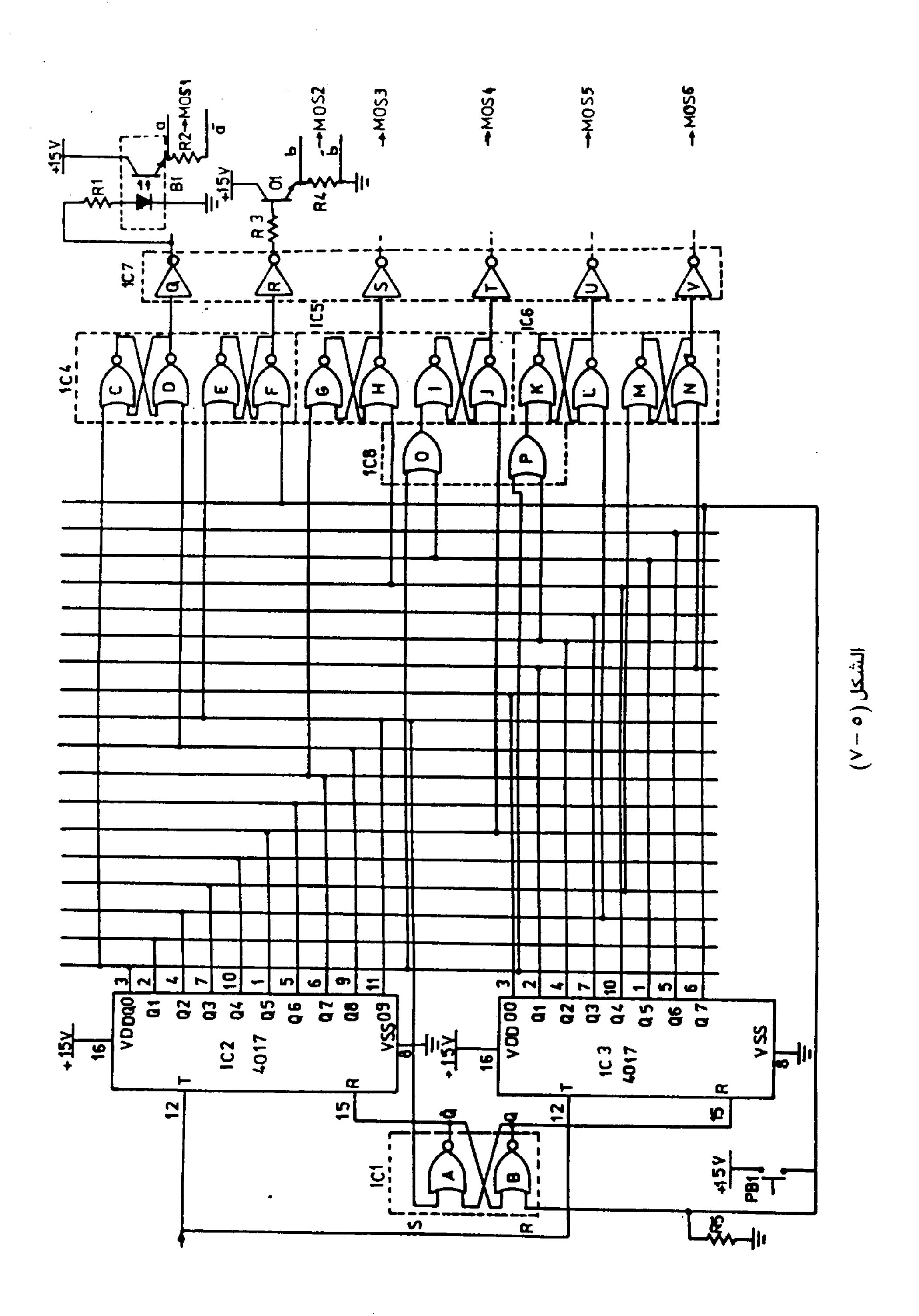
R_3 مقاومة كربونية 3KΩ

R_4 مقاومة كربونيه 1KΩ

R_5 مقاومة كربونيه 10KΩ

Ic_1	دائرة متكاملة تحتوي علي أربع بوابات NOR طراز 4001 .
Ic_2, Ic_3	دائرة متكاملة لعداد عشري طراز 4017 .
$Ic_4 - Ic_6$	دوائر متكاملة تحتوي علي أربع بوابات NOR طراز 4001 .
Ic_7	دائرة متكاملة تحتوي علي ست عواكس طراز 4050 .
Ic_8	دائرة متكاملة تحتوي علي ست بوابات OR طراز 4071 .
B_1	ثلاث وحدات ارتباط ضوئية طراز CNY173Z .
Q_1	ثلاثة ترانزستورات NPN طراز 2N2222 .
PB_1	ضاغط بريشة مفتوحة .

علماً بأنه يجب مضاعفة المقاومات ثلاث مرات .


IC1
IC2
4017
IC3
4017
IC4
IC5
IC6
IC7
IC8
VDD
VSS
+15V
PB1
R1
R2
R3
R4
R5
B1
Q1
MOS1
MOS2
MOS3
MOS4
MOS5
MOS6

الشكل (٥ - ٧)

نظرية تشغيل دائرة إشعال العاكس :

فى بداية التشغيل يتم الضغط على الضاغط PB_1 فيحدث تحرير للقلاب المؤلف من البواتين A , B ، وبالتالى تصل إشارة عالية لمدخل تحرير العداد IC_3 ، فيبدأ العداد IC_2 ، فى العد وصولاً للنبضة العاشرة، فتصل نبضة عالية من المخرج Q_9 للعداد IC_2 لمدخل الإمساك للقلاب المؤلف من البوابتين A , B فيحدث تحرير للعداد IC_2 ، فى حين يبدأ العداد IC_3 فى العد وعند النبضة الثامنة عشر تصل نبضة عالية من المخرج Q_8 للعداد IC_3 إلى مدخل الإمساك للقلاب من البواتين A , B فيحدث تحرير للعداد IC_3 وتبدأ دورة التشغيل من جديد .

والجدير بالذكر أننا سنعتبر كل نبضة تقابل 20° من دورات خرج العاكس Inverter . والجدول (٥-٢) يبين العلاقة بين رقم النبضة والزاوية المقابلة وحالة ترانزستورات العاكس.

الجدول (٥-٢)

رقم النبضة	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18
الزاوية المقابلة / الترانزستور	0 : 20	20 : 40	40 : 60	60 : 80	80 : 100	100 : 120	120 : 140	140 : 160	160 : 180	180 : 200	200 : 220	220 : 240	240 : 260	260 : 280	280 : 300	300: 320	320: 340	340 : 360
MOS_1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
MOS_2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	0
MOS_3	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0	0	0
MOS_4	1	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1
MOS_5	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1
MOS_6	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0

وحيث إن كل نبضة تقابل °20 ، أى أن الدورة الكاملة سوف تحتاج إلى عدد نبضات يساوى $18 = \frac{360}{20}$. وللحصول على تردد يساوى 100 HZ نحتاج لنبضات خارجة من VCO ترددها يساوى $18 X 100 = 1800 HZ$. وهذا هو السبب فى اختيار تردد النبضات الخارجة من VCO يترواح ما بين(0 : 1800 HZ) .

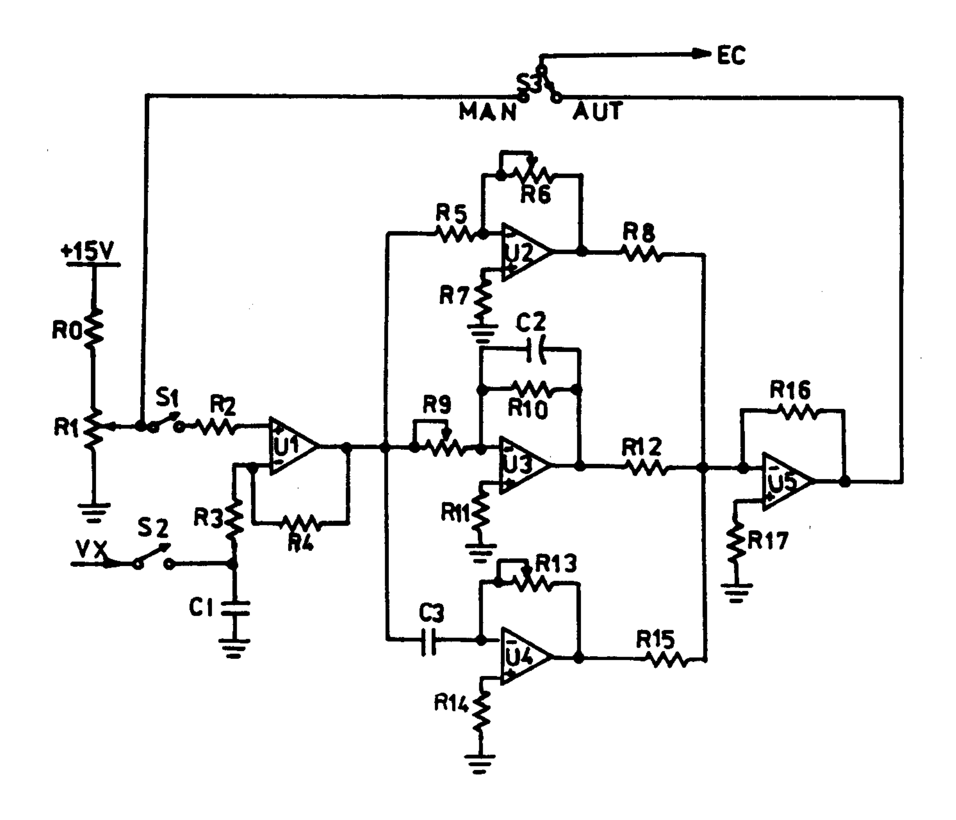
والجدير بالذكر أن دائرة الإشعال ما هى إلا تحقيق للجدول (٥-٢) .

فمثلاً يخصص القلاب المؤلف من البوابتين C , D والعاكس Q (لرفع مستوى التيار المتاح) ووحدة العزل B_1 وذلك للتحكم فى الترانزستور MOS_1 ، حيث يحدث إمساك للقلاب عند النبضة الأولى (°20 : 0) ويحدث تحرير للقلاب عند النبضة التاسعة (°180 :°160) ، وهذه هى الفترة التى يعمل فيها هذا الترانزستور فى حين يخصص القلاب المؤلف من البوابتين E , F والعاكس R والترانزستور Q_1 فى التحكم فى الترانزستور MOS_2 ، فعند النبضة العاشرة (°200 :°180) يحدث إمساك للقلاب، فى حين يحدث تحرير للقلاب عند النبضة الثامنة عشرة (°360 :°340)، وهذه هى الفترة التى يعمل فيها الترانزستور MOS_2 .

والجدير بالذكر أنه يستخدم وحدات ارتباط ضوئية مع كلٍ من MOS_1, MOS_3, MOS_5, لمنع حدوث قصر بين النقاط $\overline{A}$, $\overline{C}$, $\overline{E}$ فى الدائرة الرئيسية للعاكس (الشكل ٥-٤) أثناء إشعال أكثر من ترانزستور فى آن واحد، فى حين لا تستخدم وحدات ارتباط ضوئية مع كلٍ من MOS_2, MOS_4, MOS_6 لأنه يوجد قصر طبيعى بين $\overline{B}$, $\overline{D}$, $\overline{F}$ فى الدائرة الرئيسية (الشكل ٥-٤) .

ويلاحظ من الجدول (٥-٢) أن عملية وصل وفصل الترانزستورات المتتامة لا تحدث فى لحظة واحدة ولكن بعد تأخير مقدارة °20 . على سبيل المثال: يتم فصل الترانزستور MOS_1 عند النبضة التاسعة، ويتم وصل الترانزستور MOS_2 عند النبضة العاشرة، أى أنه فى النبضة التاسعة تكون كلا من MOS_1, MOS_2 فى حالة فصل، وبالتالى نتجنب القصر اللحظى الذى يمكن أن يحدث من وصل وفصل الترانزستورين MOS_1, MOS_2 ، وبالمثل يحدث مع الترانزستورين MOS_3, MOS_4، وكذلك مع الترانزستورين MOS_5, MOS_6 .

والشكل (٥-٨) يبين دائرة منظم تناسبى تكاملى تفاضلى PID



الشكل (٥-٨)

عناصر دائرة المنظم التناسبى التكاملى التفاضلى :

R_0 مقاومة كربونية 5KΩ

R_1 مجزىء جهد 10KΩ

R_2 مقاومة كربونية 10KΩ

R_3 مقاومة كربونية 10KΩ

R_4 مقاومة كربونية 10KΩ

R_5 مقاومة كربونية 10KΩ

R_6 مقاومة متغيرة 100KΩ

R_7 مقاومة كربونية 10KΩ

R_8 مقاومة كربونية 10KΩ

R_9 مقاومة متغيرة 10KΩ

R_{10} مقاومة كربونية 2MΩ

R_{11} مقاومة كربونية 100KΩ

R_{12} مقاومة كربونية 10KΩ

R_{13} مقاومة متغيرة 100KΩ

R_{14} مقاومة كربونية 100KΩ	R_{16} مقاومة كربونية 10KΩ
R_{15} مقاومة كربونية 10KΩ	R_{17} مقاومة كربونية 2.5KΩ

C_1	مكثف سعته 10μF
C_2	مكثف كيميائى سعته 0.47 μF وجهده 25V
C_3	مكثف كيميائى سعته 0.47 μF وجهده 25V
S_1	مفتاح قطب واحد سكة واحدة
S_2	مفتاح قطب واحد سكة واحدة
S_3	مفتاح قطب واحد سكتين
$U_1 - U_5$	مكبرات عمليات طراز 741

نظرية تشغيل المنظم PID:

عند وضع المفتاح S_3 على وضع Man وفتح كل من S_1, S_2 نحصل على نظام تحكم بحلقة مفتوحة. وعند وضع المفتاح S_3 على وضع Aut وغلق كل من S_1, S_2 نحصل على نظام تحكم بحلقة مغلقة للتحكم فى سرعة المحرك الاستنتاجى الثلاثى الوجه.

ويعمل U_1 كمكبر فرقى خرجه يساوى:

$$VO_1 = (V_W - V_X)$$

حيث إن:

V_W جهد المرجع ونحصل عليه من مجزىء الجهد R_1 .

V_X جهد التغذية المرتدة ونحصل عليه من الطرف الموجب لمولد تاكو مثبت على عمود إدارة المحرك الاستنتاجى، له خرج يترواح ما بين 0 : 10V يقابل سرعات تتراوح ما بين (0 : 2900) .

ويعمل U_2 كمنظم تناسبى ثابته يساوى:

$$K_P = \frac{R_6}{10000}$$

ويعمل U_3 كمنظم تكاملى وثابته يساوى :

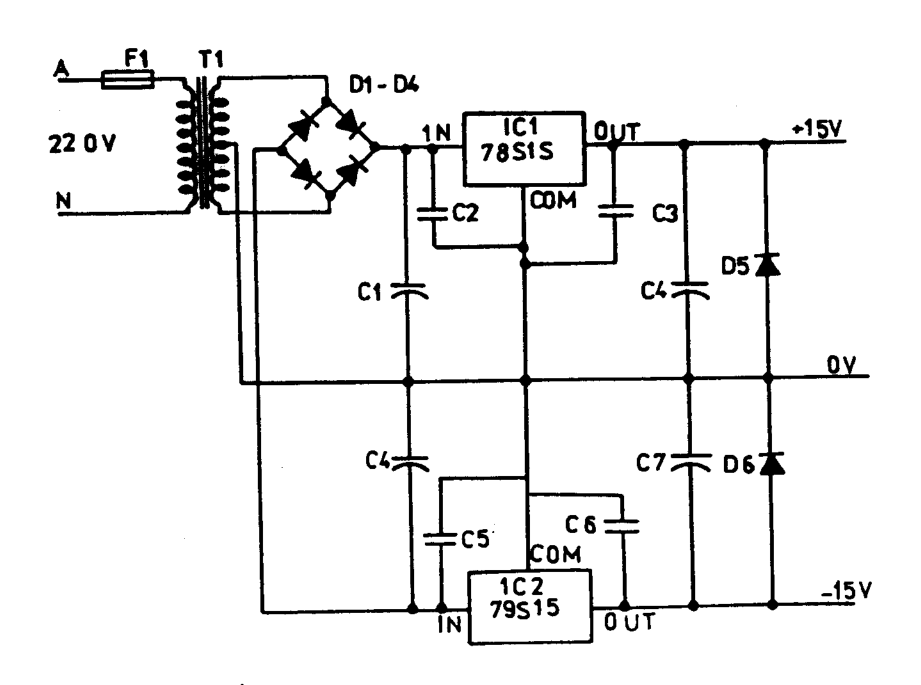
$$K_I = R_9\, C_2$$

ويعمل U_4 كمنظم تفاضلى وثابته يساوى :

$$K_D = R_{13}\, C_3$$

ويعمل U_5 كجامع عاكس يجمع خرج المنظمات الثلاثة، وخرج هذا الجامع العاكس يمثل جهد التحكم فى كل من V_{CO} المبين بالشكل (٥-٦)، وكذلك المقطع Chopper المبين بالشكل (٥-٥) .

والشكل (٥-٩) يبين مصدر القدرة المزدوج، وله الجهود الآتية (+ 15V, 0, - 15V) وسعته 24 VA .



الشكل (٥-٩)

عناصر دائرة مصدر القدرة المزودج :

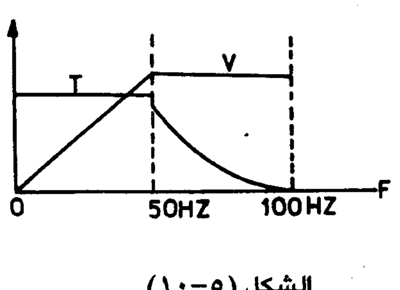
T_1	محول خفض 220/12V وسعته $24\ V_A$
IC_1	منظم جهد ثلاثى الأرجل طراز 78 S15
IC_2	منظم جهد ثلاثى الأرجل طراز 79 S15
C_1	مكثف كيميائى سعته 2200 µF وجهده 25V
C_2, C_3, C_5, C_6	مكثفات بوليستير سعتها 100nF
C_4, C_7	مكثفات كيميائية سعتها 10µF وجهدها 25V
$D_1 - D_6$	ثنائيات سليكونية طراز 1N 5400
F_1	مصهر حماية بطىء تياره 1A

ملاحظات :

١ – يتراوح جهد المرجع V_W وجهد مولد التاكو V_X ما بين 10V : 0 ، وهو يقابل سرعة محرك تتراوح ما بين 2900 RPM : 0 .

٢ – يتم ضبط الجهد الداخل للمدخل الغير عاكس للمكبر U_4 فى دائرة المقطع الشكل (٥–٥)، بحيث يتراوح ما بين 5V : 0 وذلك بواسطة مجزىء الجهد R_{12} .

٣ – جهد التحكم E_C يتراوح ما بين 10V : 0 فعندما يكون أقل من 5V فإن النسبة بين $\frac{\text{الجهد}}{\text{التردد}} = \frac{380}{50}$ وذلك بالنسبة لخرج العاكس، وعندما يكون جهد التحكم E_C أكبر من 5V فإن الجهد يثبت ليساوى 380V ، فى حين أن التردد يزداد بحيث يتراوح ما بين 100 HZ : 50 عندما يكون جهد التحكم يتراوح ما بين 10V : 5 ، وبذلك نحصل على خواص تشبه خواص محركات التيار المستمر والمبينة بالشكل (٥–١٠).



الشكل (٥–١٠)

٤ – يتم تعيين ثوابت المنظم التناسبى التكاملى التفاضلى K_P, K_I, K_D ،

وذلك بتعيين ثوابت المحرك، ثم استخدام قواعد شن وهرونس وريسوك المشروحة في الدائرة رقم 1 في الفقرة (٤ / ٢)، ثم يتم ضبط الثوابت K_D , K_I , K_P بواسطة المقاومات المتغيرة R_{13}, R_9, R_6 في دائرة المنظم PID (الشكل ٥-٨) للحصول على تشغيل متزن.

٥ - يتم اختيار MOS_7 - MOS_1 تبعًا لقدرة المحرك الاستنتاجي.

٥ / ٣ - التحكم في جهد أطراف مولد تزامني:

الشكل (٥-١١) يعرض دائرة منظم جهد مولد تزامني A_{VR} جهد أطرافه 380V، حيث يتم التحكم في جهد الأطراف بالتحكم في جهد المجال Field .

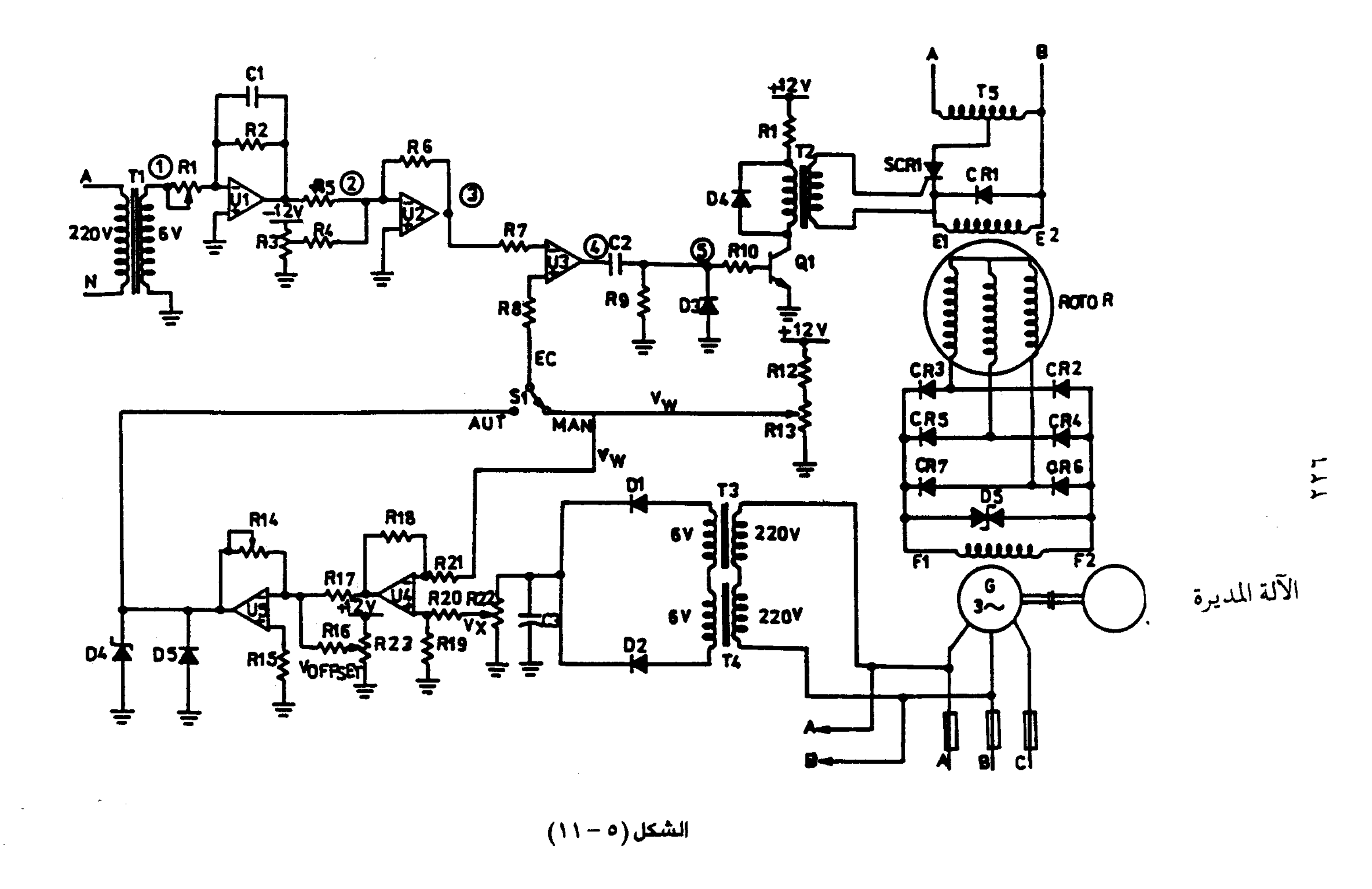
عناصر الدائرة:

R_1 مقاومة متغيرة 100KΩ
R_2 مقاومة كربونية 100KΩ
R_3 مجزئ جهد 10KΩ
R_4 مقاومة كربونية 10KΩ
R_5 مقاومة كربونية 10KΩ
R_6 مقاومة كربونية 10KΩ
R_7 مقاومة كربونية 10KΩ
R_8 مقاومة كربونية 10KΩ
R_9 مقاومة كربونية 2.7KΩ
R_{10} مقاومة كربونية 6.8KΩ
R_{11} مقاومة كربونية 2Ω , 2W
R_{12} مقاومة كربونية 6KΩ

R_{13} مجزئ جهد 6KΩ
R_{14} مقاومة متغيرة 100KΩ
R_{15} مقاومة كربونية 4.7KΩ
R_{16} مقاومة كربونية 10KΩ
R_{17} مقاومة كربونية 10KΩ
R_{18} مقاومة كربونية 10MΩ
R_{19} مقاومة كربونية 10KΩ
R_{20} مقاومة كربونية 10KΩ
R_{21} مقاومة كربونية 1KΩ
R_{22} مقاومة كربونية 10KΩ
R_{23} مقاومة متغيرة 10KΩ

C_1 مكثف كيميائي سعته 0.12 µF وجهده 16V
C_2 مكثف كيميائي سعته 0.1 µF وجهده 16V
C_3 مكثف كيميائي سعته 1000 µF وجهده 16V

D_1, D_2, D_3	ثنائيات سليكونية طراز 1N 4001
D_3	ثنائى سليكونى طراز 1N 4001
D_4	ثنائى زينر جهده 8V
$U_1 - U_5$	مكبرات عمليات 741
Q_1	ترانزستور NPN طراز BC108B
T_1, T_3, T_4	محولات خفض 220/6V سعتها 15VA
T_2	محولات نبضات بنسبة 1 : 1
T_5	محول ذاتى جهد دخله 220V

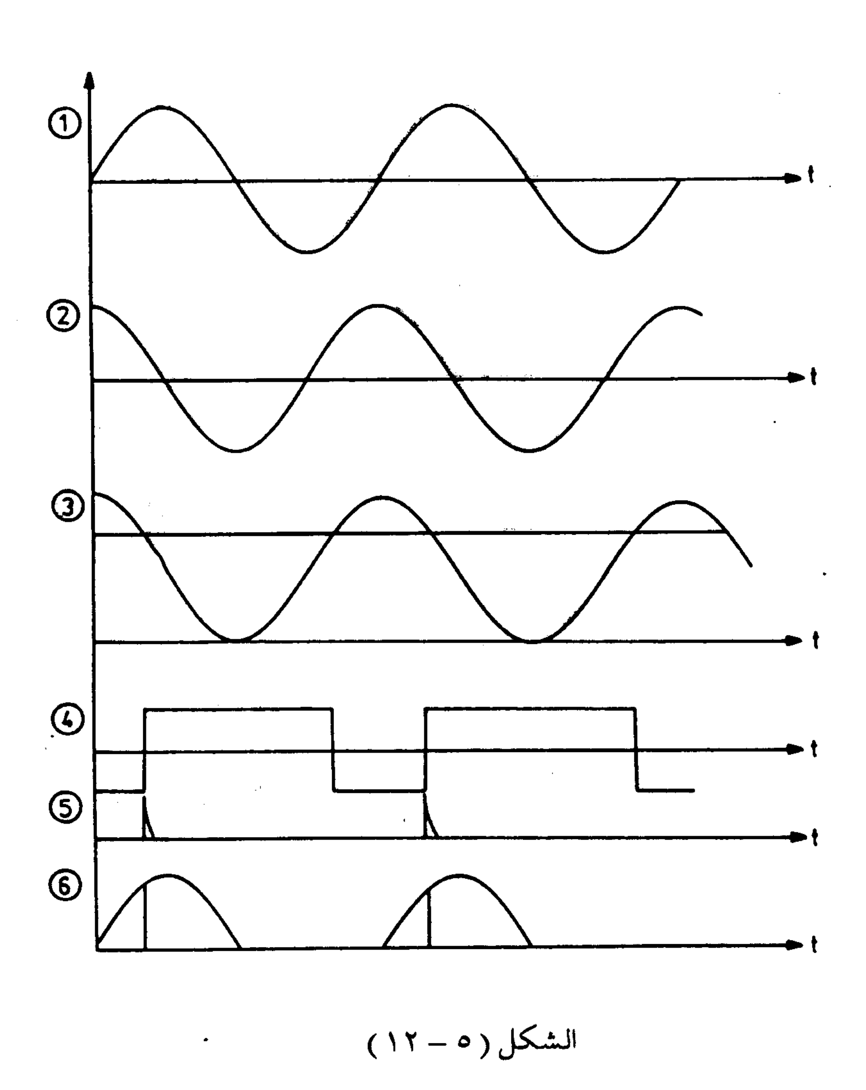


A
220V
N
T1
6V
R1
U1
C1
R2
-12V
R3
R4
R5
R6
U2
R7
U3
R8
EC
S1
AUT
MAN
C2
R9
D3
R10
Q1
+12V
R1
T2
D4
SCR1
CR1
T5
A
B
E1
E2
ROTO R
CR3
CR2
CR5
CR4
CR7
CR6
D5
F1
F2
R12
R13
V_W
V_W
D1
D2
T3
T4
6V
6V
220V
220V
R14
R18
R21
R17
+12V
U4
U5
R16
R20
R22
VX
C3
R23
R19
R15
VOFFSET
D4
D5
G
3~
A
B
A
B
C
الآلة المديرة

الشكل (٥ - ١١)

نظرية التشغيل :

لاستيعاب نظرية تشغيل نظام التحكم ذو الحلقة المغلقة والذى يسمى AVR، سنستعين بموجات الجهد عند النقاط المختلفة لدائرة AVR ، والمبينة بالشكل (٥-١٢).



الشكل (٥ – ١٢)

ويمكن تقسيم أداء هذه الدائرة لعدة مراحل كما يلى:

١ – يقوم المحول T_1 بخفض جهد أطراف المولد التزامنى A, N من 220/6V (الموجة 1).

٢ – ويقوم المكامل U_1 بمكاملة الجهد الثانوى للمحول T_1 (الموجة 2).

٣ – يقوم الجامع العاكس المؤلف من U_2 بإزالة المركبة السالبة من خرج المكامل، وذلك بالاستعانة بمجزىء الجهد R_3 (الموجة 3).

٤ – يقوم المقارن المؤلف من U_3 بمقارنة خرج المكبر U_2 مع جهد التحكم E_C القادم من المنظم (الموجة 4).

٥ – مفاضلة خرج المقارن U_3 بواسطة الدائرة التفاضلية المؤلفة من C_2/R_9 ، وإزالة المركبة السالبة بواسطة D_3 (الموجة 5)، وتصل نبضات إشعال الثايرستور SCR_1 من خلال الترانزستور Q_1 ومحول النبضات T_2 ، أما (الموجة 6) فتمثل موجة الجهد على أطراف ملف مجال المولد المثير Exiter .

والجدير بالذكر أن المحول الذاتى T_5 يضبط بحيث تكون القيمة الفعالة لجهد الثانوى مساوية 3.14 مرة من الجهد المقنن لمجال مولد المثير، كما أن الثنائى CR_1 يعمل كثنائى حدافة يسمح بإمرار تيار كهربى فى مجال مولد المثير Exiter عند وصول جهد أطراف مجال المولد المثير للصفر.

٦ – يمكن التحكم فى جهد أطراف المولد إما يدويًا أو أتوماتيكيًا، فعند وضع المفتاح S_1 على وضع Man ، فإنه يمكن ضبط جهد أطراف المولد يدويًا بضبط جهد المرجع الذى نحصل عليه من مجزىء الجهد R_{13}.

أما عند وضع S_1 على وضع Aut فإن عملية ضبط جهد أطراف المولد تتم أتوماتيكيًا، حيث إن جهد أطراف المولد A , B يتم خفضه بواسطة كل من T_3, T_4 ، ويتم توحيد الخرج الثانوى للمحولين T_3, T_4 بواسطة الثنائيات D_2, D_3 ، وتنعيم الخرج بواسطة C_3 ، وضبط الخرج بواسطة مجزىء الجهد R_{22} . وتمثل العناصر التالية محول جهد خرج المولد لإشارة جهد صغيرة $(T_3, T_4, D_1, D_2, C_3, R_{22})$.

٧ – يقوم المكبر الفرقى U_4 بطرح جهد التغذية المرتدة V_X من جهد المرجع V_W للحصول على جهد إشارة الخطأ.

٨ – يقوم المنظم التناسبى المؤلف من المكبر U_5 بجمع إشارة الخطأ على جهد Offset

وتكبير ناتج الجمع، فمثلاً:

لنفرض أن ثابت محول الجهد Voltage Transducer والمؤلف من R_{22}, T_3, T_4, D_1, D_2, C_3 يساوى 76 V/V وكان جهد المرجع V_W يساوى 5V .

فى حين تم ضبط Voffset مساوية 0.4V بواسطة المقاومة المتغيرة R_{23} ، وكذلك تم ضبط K_p يساوى 10 بواسطة المقاومة المتغيرة R_{14} ، فعندما يكون جهد أطراف المولد الرئيس مساويًا 304V فإن جهد الإشارة المرتدة من محول الجهد يساوى:

$$V_X = \frac{304}{76} = 4V$$

وبالتالى يكون خرج U_4 مساويًا:

$$V_e = V_X - V_W$$

$$= 4 - 5 = -1V$$

ويكون خرج المكبر U_5 مساويًا:

$$E_C = -K_p (Voffset + V_e)$$

$$= -10 (0.4 - 1)$$

$$= 6V$$

ملاحظات:

١ - يعمل ثنائى الزينر D_4 على منع خرج المنظم التناسبى أن يتجاوز 6V .

٢ - يعمل الثنائى السليكونى D_5 على جعل خرج المنظم التناسبى يقترب من 0V عندما يصبح U_5 مشبعًا سالبًا.

٣ - يتم ضبط مجزىء الجهد R_{22} بحيث يصبح V_X مساويًا 5V عندما يكون جهد الخط للمولد الرئيس 380V .

٤ - يتم ضبط ثابت المنظم التناسبى K_p بواسطة المقاومة المتغيرة R_{14} ، ويتم ضبط

جهد Offset بواسطة مجزىء الجهد R_{23} .

٥ – يتم توحيد خرج المولد المثير Exiter بواسطة ثنائيات دوارة Rotating Diodes مثبتة على عمود الدوران للمولد الرئيس، ويتم حماية مجال المولد الرئيسى F_1 , F_2 من ارتفاع الجهد عن حدود غير مقبولة بواسطة الثايركتور، والذى يعمل كثنائيى زينر موصلين وجهاً لوجه.

٦ – يتم ضبط القيمة العظمى للجهد الخارج من المكبر U_2 لتساوى 11V بواسطة المقاومة المتغيرة R_1 .

٧ – يتم ضبط الجهد الثانوى للمحول الذاتى T_5 بحيث يساوى القيمة العظمي لجهد ملف مجال المولد المثير Exiter .

٨ – يمكن تعيين ثابت التناسب K_p للمنظم بتعيين ثوابت المولد، وذلك بوضع المفتاح S_1 على وضع Man بعد ضبط جهد المرجع V_W بواسطة R_{13} عند جهد 5V مثلاً، وتسجيل العلاقة بين V_X والقادمة من مجزىء الجهد R_{22} وجهد المرجع V_W باستخدام Plotter ، ثم استخدام قواعد شن وهرونس ورسوك بنفس الطريقة المتبعة فى الدائرة رقم 1 فى الفقرة (٤ / ٢) لتعين ثابت المنظم التناسبى K_p.

٨ – يتميز مولد الإثارة Exiter بأنه يمتلك خاصية الرجوعية Hystresis فى ملف مجاله، وذلك من أجل إمكانية بناء الجهد على أطراف المولد عند بدء التشغيل.

الباب السادس

تطبيقات على التحكم فى

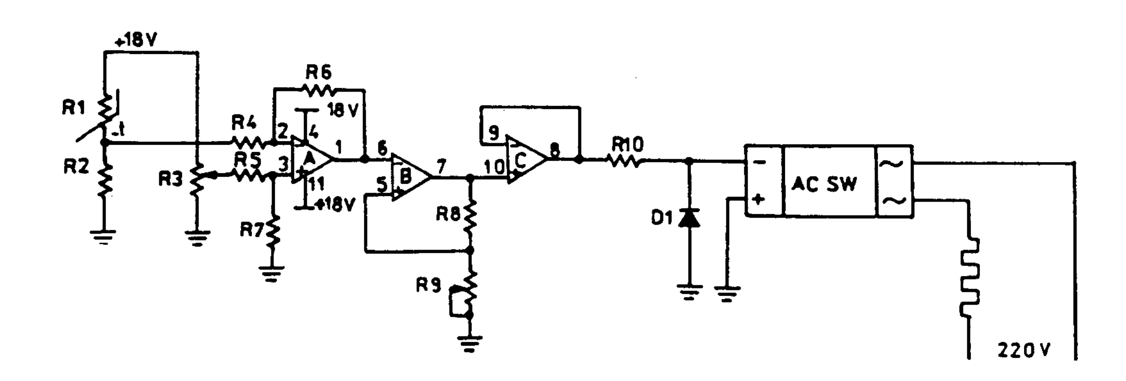
العمليات الصناعية



تطبيقات على التحكم فى العمليات الصناعية

٦ / ١ - التحكم فى درجة حرارة سخان باستخدام منظم ذى موضعين:

الشكل (٦ - ١) يعرض نظام تحكم بحلقة مغلقة للتحكم فى درجة حرارة سخان يعمل على تسخين خليط من الغازات باستخدام منظم ذى موضعين؛ للوصول بدرجة حرارة خليط الغازات إلى $400^{0}C$ كقيمة متوسطة.



الشكل (٦ - ١)

عناصر الدائرة :

- R_1 مقاومة حرارية بمعامل حرارى موجب يساوى $0.385\Omega/C^{0}$
- R_2 مقاومة كربونية 220Ω
- R_3 مقاومة كربونية $10K\Omega$
- R_4 مقاومة كربونية $22K\Omega$
- R_5 مقاومة كربونية $22K\Omega$
- R_6 مقاومة كربونية $22K\Omega$
- R_7 مقاومة كربونية $22K\Omega$
- R_8 مقاومة كربونية $22K\Omega$
- R_9 مقاومة كربونية $2.2K\Omega$
- R_{10} مقاومة كربونية $1K\Omega$

U_1 مكبر عمليات طراز LF444A .

D_1 ثنائى طراز 1N4000 .

AC.SW مفتاح الكترونى يعمل عند العبور بالصفر جهد دخله 18V - 0 وخرجه 220V وقدرته 2Kw .

نظرية التشغيل:

تتميز عملية تسخين خليط من الغازات بالتغير السريع فى درجة الحرارة، ويعتبر المنظم ذا الموضعين من أنسب أنواع المنظمات المستخدمة فى هذا التطبيق، ويتميز هذا المنظم الذى سنستخدمه فى هذا التطبيق بأن له رجوعية مقدارها 200^0C .

وتستخدم مقاومة حرارية R_1 لها معامل حرارى موجب، بحيث تكون مقاومتها $100\ \Omega$ عند درجة الصفر المئوى، ولها معامل حرارى موجب يساوى $0.385\Omega/^0C$، علماً بأن درجة حرارة خليط الغازات تتراوح ما بين 200^0C - ، 750^0C . ويتم توصيل المقاومة R_2 مع R_1 للحصول على مجزئ جهد يعطى جهداً يعتمد على درجة الحرارة .

والجدير بالذكر أن هذا الجهد يقل بزيادة درجة الحرارة .

والشكل (٦ - ٢) يبين العلاقة بين خرج مجزئ الجهد ودرجة الحرارة .

الشكل (٦ - ٢)

والجدير بالذكر أنه ليس من الحكمة أخذ حدود عمل السخان 300^0C, 500^0C؛ وذلك لأن السخان عندما يفصل عند وصول درجة حرارته 500^0C فإن درجة الحرارة ستستمر فى الارتفاع حتى بعد فصل السخان، وكذلك فإنه عند وصول التيار الكهربى للسخان عند وصول درجة حرارته إلى 300^0C فإن درجة حرارة السخان سوف تقل عن 300^0C

حتى يصبح السخان قادراً على الارتفاع بدرجة حرارته، وهذا يعتبر سكوناً طبيعياً للسخان.

لذلك فمن الأفضل أخذ حدود عمل السخان 350°C, 450°C، وهما يقابلان الجهد 8V و 9V بالترتيب.

وتتكون دائرة التحكم من عدة مراحل كما يلى:

١ – يعمل المكبر A كمكبر فرقى خرجه يمثل جهد الخطأ V_e، وهو ناتج الفرق بين جهد المرجع والذى يساوى 8.5V والذى نحصل عليه من مجزئ الجهد R_3 والجهد المقابل لدرجة الحرارة الفعلية والقادم من مجزئ الجهد المؤلف من R_1 وR_2، وبالتالى فإن الخطأ سيتراوح ما بين 0.5V - عند 350°C ، 0.5V + عند 450°C .

٢ – يعمل المكبر B كمنظم بموضعين برجوعية ويتم ضبط المقاومة R_9 بحيث يكون الجهد الواقع على الطرف الغير عاكس للمكبر B يساوى 0.5V + عندما يكون هذا المكبر مشبعاً موجباً، ويساوى 0.5V - عندما يكون هذا المكبر مشبعاً سالباً، وهذا يكون عندما تكون المقاومة R_9 مساوية 710Ω.

٣ – يعمل المكبر C على عزل المنظم من المفتاح الالكترونى، حيث يعمل هذا المكبر كمكبر وحدة Voltage follower، وذلك لضمان أن المكبر B غير محمل بالمفتاح الالكترونى.

فعند توصيل التيار الكهربى بهذا النظام، ولنفرض أن درجة حرارة الغرفة كانت مساوية 25°C، وبالتالى يصبح خرج مجزئ الجهد المؤلف من R_1, R_2 يساوى13V + (انظر الشكل ٦ – ٢)، وعند ضبط جهد المرجع القادم من R_3 عند 8.5V فإن خرج المكبر A يصبح حوالى 4.5V -، وبالتالى يصبح خرج المكبر B مشبعاً سالباً Vsat-، وتباعاً يصبح خرج المكبر C مشبعاً موجباً Vsat + فيعمل الريلاى الاستاتيكى على توصيل التيار الكهربى للسخان، وبمجرد تعدى درجة حرارة الغازات 450°C يصبح الجهد الداخل على الرجل 2 للمكبر A أقل من 8V + فيصبح خرج A أكبر من 0.5V+، فيصبح خرج B مشبعاً موجباً Vsat+، وتباعاً يصبح خرج المكبر C مشبعاً سالباً Vsat-، وبالتالى يصبح D_1 منحازاً أمامياً، ويصبح جهد خرج المكبر C مساوياً

$-0.7V$ ويتحول المفتاح الالكترونى A_C لحالة القطع. وعند انخفاض درجة الحرارة عن 350^0C يصبح الجهد الداخل للرجل 2 للمكبر A أكبر من $+8.5V$، وبالتالى يصبح خرج المكبر A أكثر سالبية من $-0.5V$، وتباعاً يصبح خرج المكبر B مشبعاً سالباً $-Vsat$، ومن ثم يصبح خرج المكبر C مشبعاً موجباً $+Vsat$ فيعمل المفتاح الالكترونى AC.SW على توصيل التيار الكهربى للسخان ليعمل السخان مرة أخرى وهكذا.

٦ / ٢ - التحكم فى درجة حرارة فرن:

الشكل (٦ - ٣) يبين نظام تحكم بحلقة مغلقة للتحكم فى درجة حرارة فرن كهربى قدرته 2KW، ويعمل عند جهد 220V منظماً تناسبياً.

عناصر الدائرة:

R_1	مقاومة كربونية	10KΩ	R_{10}	مجزئ جهد	10KΩ
R_2	مجزئ جهد	3.3KΩ	R_{11}	مقاومة كربونية	10KΩ
R_3	مقاومة كربونية	2.2KΩ	R_{12}	مقاومة كربونية	10KΩ
R_4	مقاومة متغيرة	180KΩ	R_{13}	مقاومة متغيرة	100KΩ
R_5	مجزئ جهد	10KΩ	R_{14}	مقاومة كربونية	4.7KΩ
R_6	مقاومة كربونية	10KΩ	R_{15}	مقاومة كربونية	10KΩ
R_7	مقاومة كربونية	10KΩ	R_{16}	مقاومة كربونية	10KΩ
R_8	مقاومة كربونية	10KΩ	R_{17}	مقاومة كربونية	4.7KΩ
R_9	مقاومة كربونية	10KΩ	R_{18}	مقاومة كربونية	1KΩ

C مكثف كيميائى سعته 1.7 μF وجهده 15V.

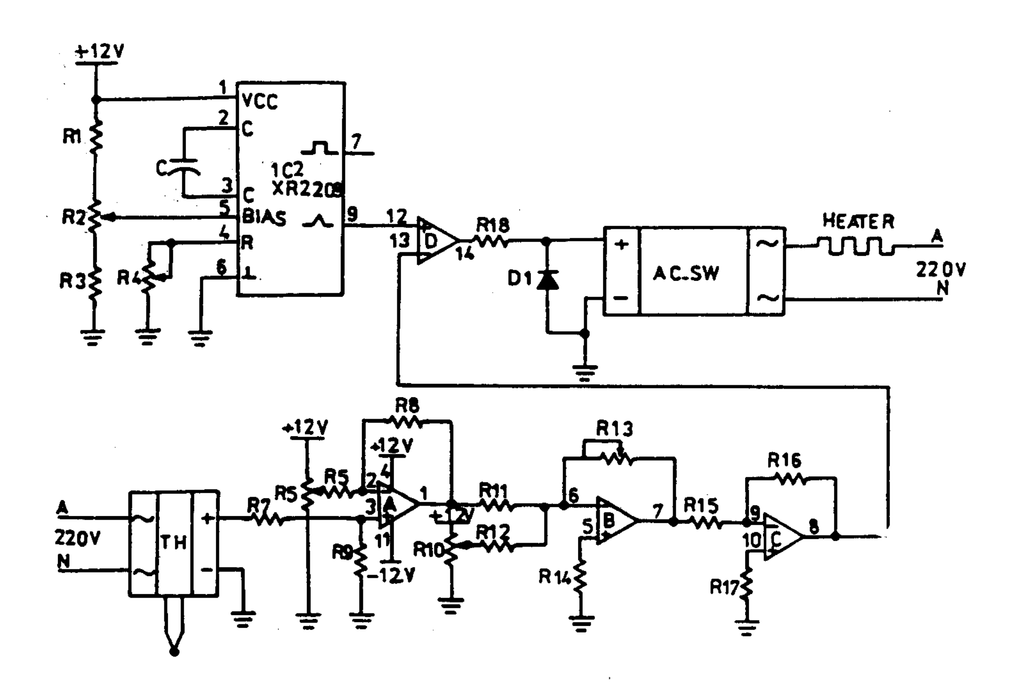
IC_1 دائرة متكاملة تحتوى على أربع مكبرات عمليات طراز Lf4444A.

IC_2 مؤقت زمنى طراز XR2209.

– جهاز ازدواج حرارى يتم تغذيته بجهد 220V وخرجه خطى

ويساوى 0:10V عند نطاق درجة حرارة $0:600^0C$، أى أن له ثابتاً يساوى ($0.016V/^0C$).

– مفتاح الكترونى تيار متغير ACSW تياره 10A وجهده 220V ويعمل بالقرب من عبور الصفر.



الشكل (٦ – ٣)

نظرية التشغيل:

يمكن تقسيم هذه الدائرة لعدة مراحل كما يلى:

١ – تقوم الدائرة المتكاملة IC_2 بإخراج نبضات مثلثة ترددها يساوى:

$$F = \frac{1}{R_4C}$$

فعند ضبط قيمة المقاومة R_4 لتصبح مساوية $98K\Omega$ ويصبح تردد النبضات المثلثة Ramp مساوياً 6HZ، ويضبط مجزئ الجهد R_2 للحصول على جهد يساوى 0.6V عند الرجل 5، وبالتالى يصبح جهد خرج المؤقت XR2209 يتراوح ما بين 0:6V.

٢ - يعمل مكبر العمليات A كمكبر فرقى، خرجه يمثل جهد الخطأ V_e، وهو ناتج الفرق بين جهد المرجع القادم من مجزئ الجهد R_5 والجهد المقابل لدرجة الحرارة والقادم من جهاز الازدواج الحرارى.

٣ - يعمل المكبر B كمنظم تناسبى، يقوم بجمع جهد الخطأ V_e والقادم من المكبر A وجهد Offset والقادم من مجزئ الجهد R_{10} وتكبير حاصل الجمع.

٤ - يعمل المكبر C كعاكس، يقوم بعكس خرج المكبر B.

٥ - يعمل المكبر D كمقارن، يقوم بمقارنة النبضات المثلثة (خرج المؤقت) مع جهد التحكم والقادم من المكبر C، ويكون خرجه مشبعاً موجباً أو مشبعاً سالباً، ويقوم الثنائى D_1 بخفض جهد خرج المكبر D عندما يكون مشبعاً سالباً ليصبح مساوياً -0.7V.

مثال:

- نفترض أن جهد المرجع يساوى 6V وهو يقابل درجة حرارة مقدارها

$$\frac{6}{0.016} = 375^0C$$

ويتم ضبطه بواسطة مجزئ الجهد R_5.

- ونفترض أن جهد Offset ضبط ليساوى 1.5V بواسطة مجزئ الجهد R_{10}.

- ونفترض أن ثابت المنظم التناسبى ضبط ليساوى $K_p = 2$ بواسطة R_{13}.

فإذا كانت درجة حرارة الغرفة 25^0C فإن خرج جهاز الازدواج الحرارى يساوى:

$$V_X = 0.016 \times 25 = 0.4V$$

حينئذ يكون خرج المكبر A مساوياً:

$$A_O = (V_X - V_W) = -5.6V$$

ويكون خرج المكبر B مساوياً:

$$B_O = -K_P (V_{offset} + A_O)$$
$$= -2 (1.5 - 5.6) = + 8.2V$$

ويكون خرج المكبر C مساوياً:

$$C_O = -B_O$$
$$= -8.2V$$

ويقوم المكبر D بمقارنة خرج المؤقت XR2209 بالجهد 8.2V-، وحيث إن خرج المؤقت سيكون أعلى دائماً من 8.2V-، وبالتالى يصبح خرجه مشبعاً موجباً باستمرار، فيعمل المفتاح الالكترونى على توصيل التيار الكهربى للسخان بصفة مستديمة.

وعندما تصل درجة الحرارة إلى 375^oC فإن:

$$V_X = 0.016 \times 375 - 6V$$

ويكون خرج المكبر A مساوياً:

$$A_O = (V_X - V_W)$$
$$= 6 - 6 = 0V$$

ويكون خرج المكبر B مساوياً:

$$B_O = -K_P (V_{offset} + A_O)$$
$$= -2 (1.5 + 0) = -3V$$

ويكون خرج المكبر C مساوياً:

$$C_O = -B_O$$
$$= + 3V$$

وبالتالى يكون خرج المقارن D مشبعاً موجباً عندما يكون خرج المؤقت أكبر من

+3V، وأثناء ذلك الوقت يعمل المفتاح الالكترونى على توصيل التيار الكهربى للسخان.

وعندما تصل درجة الحرارة إلى 470^0C فإن:

$$V_X = 0.016 \times 470 = 7.5V$$

$$A_O = (V_X - V_W)$$

$$= 7.5 - 6 = +1.5V$$

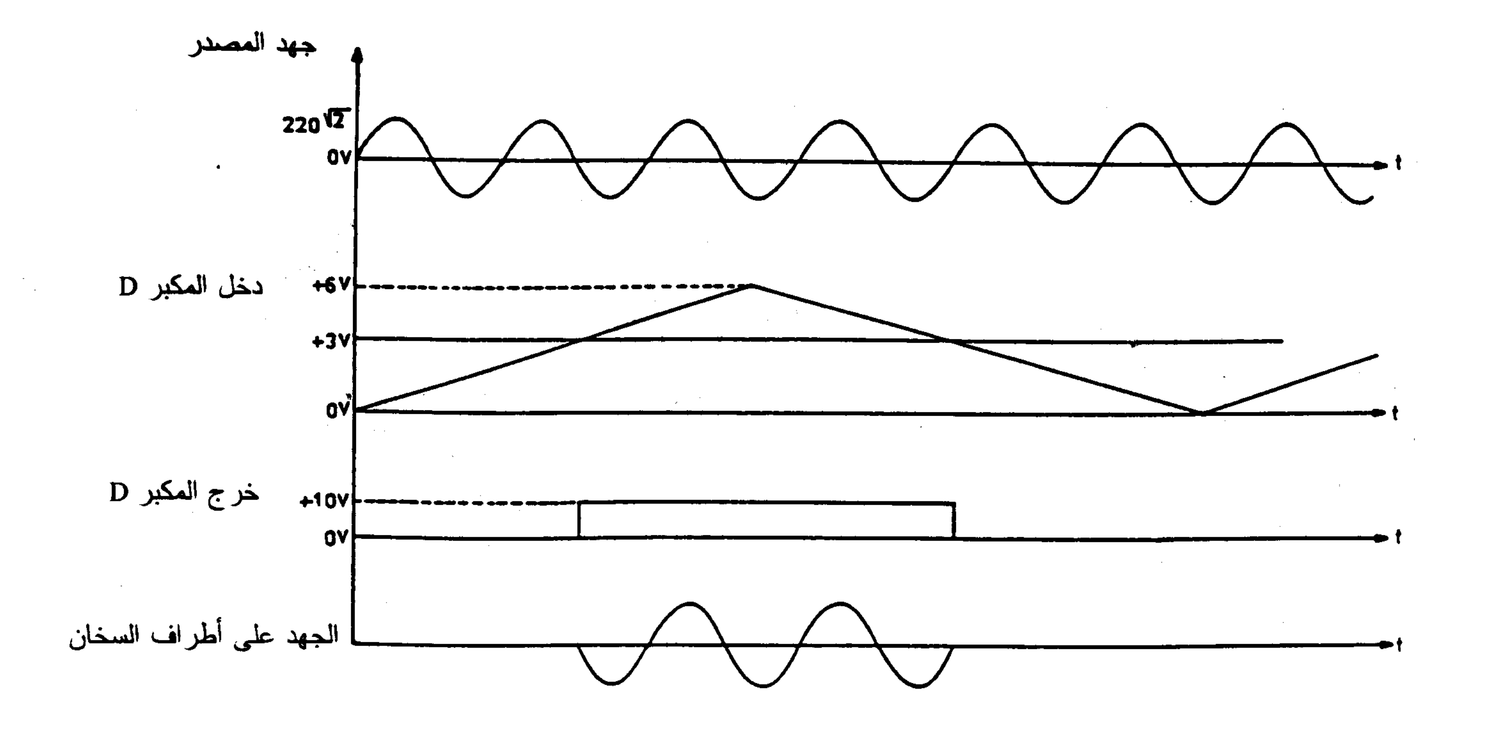
$$B_O = K_P (V_{offset} + A_O)$$

$$= - 2 (1.2 + 1.5) = -6$$

$$C_O = - B_O$$

$$= +6V$$

وبالتالى يصبح خرج المقارن D منعدماً فينقطع وصول التيار الكهربى إلى السخان، والشكل (٦ - ٤) يبين موجة جهد المصدر ودخل المكبر D وخرج المكبر D وموجة الجهد على أطراف السخان، ويلاحظ أنه كلما ازداد زمن بقاء خرج المكبر D مشبعاً موجباً يزداد الزمن الذى يصل فيه التيار الكهربى للسخان فتزداد قدرة السخان، والعكس بالعكس.

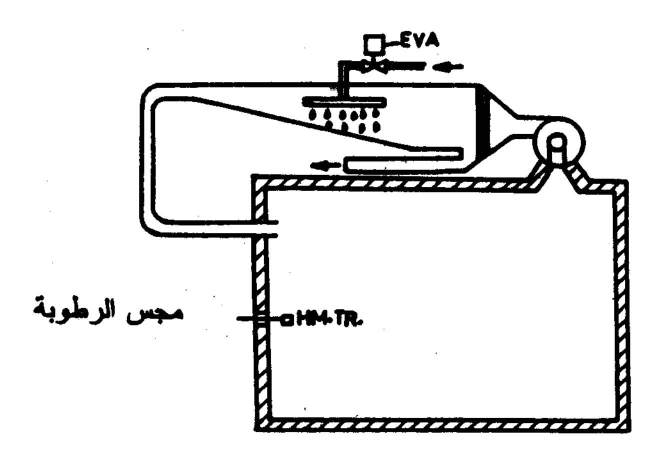

جهد المصدر
220√2
0V
t
دخل المكبر D
+6V
+3V
0V
t
خرج المكبر D
+10V
0V
t
الجهد على أطراف السخان
t

الشكل (٦ – ٤)

٦ / ٣ - التحكم التناسبى فى رطوبة مستودع:

الشكل (٦ - ٥) يعرض المخطط التكنولوجى لوحدة تحكم فى رطوبة مستودع، حيث يوضع رشاش ماء بالقرب من فوهة منفاخ **Blower**، فعند انخفاض مستوى الرطوبة فى المستودع يرش الرشاش بعض الماء، ويقوم المنفاخ بدفع هواء ساخن لتوزيع هذا الماء بانتظام فى هواء المستودع، وبذلك ترتفع رطوبة المستودع، علماً بأنه يستخدم جهاز لاستشعار مستوى الرطوبة فى المستودع، ويستخدم نظام تحكم بحلقة مغلقة بمنظم تناسبى للتحكم فى صمام بمحرك كهربى يتحكم فى تدفق الماء.

والجدير بالذكر أن معدل فتح هذا الصمام يعتمد على شدة تيار إشارة الدخل الكهربية لهذا الصمام.



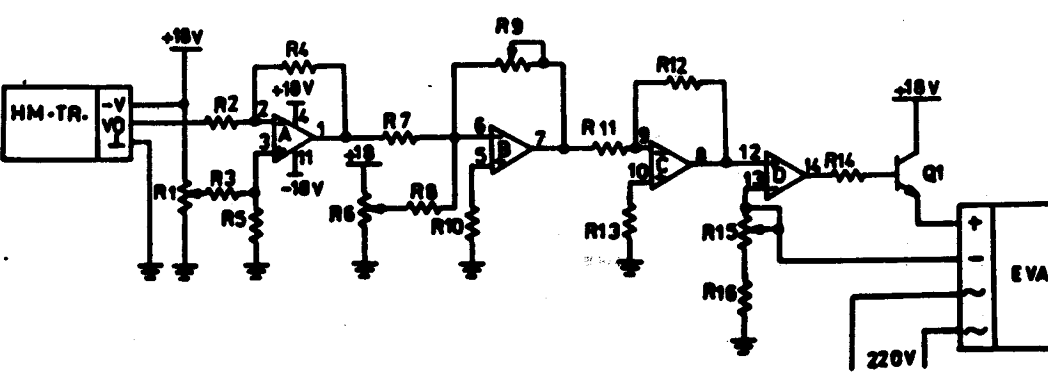
الشكل (٦ - ٥)

والجدول (٦ - ١) يبين النسبة المئوية لفتح صمام الماء عند قيم مختلفة لتيار دخل وحدة التحكم فى هذا الصمام.

الجدول (٦ - ١)

شدة التيار (mA)	4	6	8	10	12	14	16	18	20
النسبة المئوية لفتح الصمام	0	12.5	25	37.5	50	62.5	75	87.5	100

والشكل (٦ - ٦) يعرض نظام التحكم ذو الحلقة المغلقة للتحكم فى صمام رشاش الماء، للمحافظة على نسبة الرطوبة داخل المستودع عند مستوى معين.


HM-TR.
-V
VO
+18V
R1
R2
R3
R4
+18V
R5
-18V
R6
+18
R7
R8
R9
R10
R11
R12
R13
R14
R15
R16
+18V
Q1
EVA
+
-
220V

الشكل (٦-٦)

عناصر الدائرة :

R_1	مجزئ جهد	10KΩ	R_9	مقاومة متغيرة	10KΩ
R_2	مقاومة كربونية	10KΩ	R_{10}	مقاومة كربونية	3.3KΩ
R_3	مقاومة كربونية	10KΩ	R_{11}	مقاومة كربونية	10KΩ
R_4	مقاومة كربونية	10KΩ	R_{12}	مقاومة كربونية	10KΩ
R_5	مقاومة كربونية	10KΩ	R_{13}	مقاومة كربونية	4.7KΩ
R_6	مجزئ جهد	10KΩ	R_{14}	مقاومة كربونية	470Ω
R_7	مقاومة كربونية	10KΩ	R_{15}	مقاومة متغيرة	1KΩ
R_8	مقاومة كربونية	10KΩ	R_{16}	مقاومة كربونية	470Ω

Q_1 ترانزستور NPN طراز 2N3054 .

U_1 مكبر عمليات طراز LF444A .

– جهاز استشعار رطوبة خرجه 10V - 0، له خواص خطية، خرجه 0V عندما تكون الرطوبة النسبية 0%، وخرجه 5V+ عندما تكون الرطوبة النسبية 50%، وخرجه 10V+ عندما تكون الرطوبة النسبية 100% .

– صمام بمحرك كهربى له الخواص التى سبق وأن عرضناها فى الجدول (٦ – ١) .

نظرية التشغيل:

ويمكن تقسيم أداء هذه الدائرة إلى عدة مراحل كما يلى:

١ – يعمل المكبر A كمكبر فرقى، خرجه يمثل جهد الخطأ، وهو ناتج الفرق بين جهد المرجع القادم من مجزئ الجهد R_1 والجهد المقابل للرطوبة النسبية.

٢ – يعمل المكبر B كمنظم تناسبى، حيث يجمع جهد الخطأ V_e مع جهد Offset، أى أن خرج المكبر B يساوى:

$$B_O = - K_P (V_e + V_{offset})$$

ويتم ضبط ثابت التناسب K_P بواسطة المقاومة المتغيرة R_9، حيث إن

$$(K_P = \frac{R_9}{10000}).$$

٣ - يعمل المكبر C كعاكس بمعامل تكبير الوحدة، وذلك لعكس إشارة خرج المكبر B، أى أن خرج المكبر C يساوى:

$$C_O = -B_O$$

٤ - يعمل المكبر D كمحول جهد لتيار Voltage to Current converter، حيث إن خرج هذا المكبر يساوى:

$$I_O = \frac{V_{in}}{(R_{15} + R_{16})}$$

ولمزيد من التفاصيل ارجع للفقرة (٩/٣/٣). فإذا كانت $(R_{15} + R_{16})$ تساوى 1KΩ، وكان الجهد الداخل على المدخل الغير عاكس للمكبر D يساوى 1V، فإن تيار الخرج يصبح 1mA، فى حين أنه إذا كان $V_{in} = 20V$ فإن تيار الخرج يصبح 20mA، ويتناسب نسبة فتح الصمام تبعاً لشدة التيار الخارج من المكبر D.

مثال:

- جهد المرجع يساوى +7V ويتم ضبطه بواسطة R_1.
- جهد Offset يساوى +3V ويتم ضبطه بواسطة R_6.
- الكسب (K_P) يساوى 2 ويتم ضبطه بواسطة R_9.
- مجموع المقاومتين $(R_{15} + R_{16})$ يساوى 500Ω.

ولنفترض أن النظام تم تشغيله بعد فترة توقف طويلة وكانت الرطوبة النسبية للمستودع 50%، فى هذه الحالة يصبح خرج المكبر A مساوياً:

$$A_O = V_e = V_W - V_V$$
$$= 7 - 5 = 2V$$

ويكون خرج المكبر B مساوياً:

$$B_O = -K_P (V_e + V_{offset})$$

$$= -2 (2 + 3) = -10V$$

وبالتالى يكون خرج المكبر C مساوياً:

$$C_O = -B_O$$

$$= +10V$$

ويكون خرج المكبر D مساوياً:

$$I_O = \frac{C_O}{R_{15} + R_{16}} = 20mA$$

وبالتالى يفتح الصمام بنسبة 100%، وهكذا حتى يصبح الخطأ (V_e) مساوياً 0V، فى هذه الحالة يصبح خرج المكبر B مساوياً:

$$B_O = -K_P (V_e + V_{offset})$$

$$= -6V$$

وبالتالى يصبح خرج المكبر C مساوياً:

$$C_O = -B_O$$

$$= +6V$$

وأخيراً يكون خرج المكبر D مساوياً:

$$I_O = \frac{C_O}{R_{15} + R_{16}} = 12mA$$

وبالتالى يفتح الصمام بنسبة 50% وهكذا.

Refrences

1 - Miltonkaufman, Arthurh Seidman, ed. 1988 Handbook of electronics calculations for engineers and technicians, New York. Mc Graw. Hill.

2 - Johne. Lackey; Jerryl. Massey, ed. 1986. Solid state electronics: New York. CBS College publishing.

3 - Timothy, J. Maloney, ed. 1986 Industrial Solid - state electronics devices and systems, New Jersey Prenticehall, Inc., Englewood cliffs.

4 - Paul Horowitz, Winfield Hill, ed. 1980.

The Art of Electronics, London. Newyork. Cambridge University Press.

5- James T. Humphries , Lesliep. Sheets, ed. 1983. Industrial Electronics. California Breton Publishers.

6- Fredrick W. Hughes, ed. 1984. Basic Electronics Theory And Experimentation New Jersey. Prentice - Hall, Inc., Englewo - od Cliffs.

7- R.M Harston, ed. 1990 . power Control Circiut Manual. Oxford. Heinemann·Professional Publishing Ltd.

8- John Webb, Kevin Greshock , ed 1983. Industrial Control Electronics Newyork. Macmillan Publishing Company.

9- Humphries, ed. 1988. Motors And Controls. Columbus. Merell

Publishing Company.

10- Rudolf F. Graf., ed, 1989. The Encyclopedia of Electronics Circiuts. New Delhi. ppb. publications .

11- John Markus, ed. 1980 Modern Electronic circiuts Reference Manual. Newyork. Mc Graw- Hill Book Company.

12- Gc Loveday., ed, 1982. Electronic Fault Diagnosic Singapore. Longman Sciectific & Technical.

13- Gc Loveday.

Essential Electronics An A to z Guide. London. Pitman.

14- Signetics, ed, 1977. Data Manual Newyork. Signetics Corporation .

15- Boydlarson, ed 1983. Power Control Electronics. Wew Jersey. Prentice - Hall, Inc. Englewood Cliffs.

16- Cyril W. Lander, ed. 1981 Power Electronics. London. Mc Graw - Hill Book Company (UK) Limited.

17- P.c. Sen , ed. 1981

Dc Drive. USA. John Wiley And Sons. Inc.

18- Raymond Ramshaw. ed, 1973 Power Electronics (Thyristor Controlled Power for Electric Motors). London . Chapman And Hall.

19- Thadia Krishnan And Bell Amkonda Ramaswami. ed 1974.

Afast - Response Dc Motor Speed Control System. Ieee Tra - Sactions On Industry Application, Vol. Ia - 10, No. 5, Septembre / October 1974.

محتويات الكتاب

الموضوع **الصفحة**

الباب الأول

التحكم الالكترونى فى محركات التيار المستمر

الباب الثانى

التحكم الالكترونى فى آلات التيار المتردد

الباب الثالث

أساسيات التحكم الاسترجاعى

الباب الرابع

تطبيقات على التحكم فى سرعة محركات التيار المستمر